

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Konstrukční úprava rámu robotu Kraken 2

Adjustment of Mechanical Construction of the Frame of Robot Kraken 2

Student: Dominik Heczko

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Široký

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Heczko**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: Konstrukční úprava rámu robotu Kraken 2
Adjustment of Mechanical Construction of the Frame of Robot Kraken 2
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši stávajících robotů pro monitorování.
2. Specifikujte požadavky na robot (podle pokynů vedoucího).
3. Proved'te analýzu modelu robotu, jeho smontovatelnost a vyrobiteľnosť jednotlivých dílů.
4. Proved'te konstrukční úpravu vybraných dílů.
5. Vypracujte kompletní výrobní dokumentaci.
6. Práci též doložte v elektronické formě ve formátu .doc, .pdf a v CAD systému.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha:Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma, struktura. Praha:Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] Kárník, L. Servisní roboty. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.
- [4] NOVÁK, P. Mobilní roboty:pohony, senzory, řízení. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Široký**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

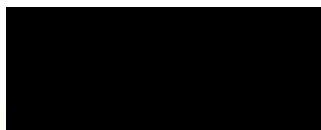


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16.5.2016

A solid black rectangular box used to redact the student's signature.

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16.5.2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Dominik Heczko

Adresa trvalého pobytu autora práce:



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HECZKO, D. *Konstrukční úprava rámu robotu Kraken 2: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robotiky, 2016, 59s., Vedoucí práce: Ing. Petr Široký

Bakalářská práce se zabývá úpravou rámu robotu Kraken 2, který je určen pro video detekci automobilových podvozků. V úvodu je proveden průzkum robotů určených pro monitoring. Následně byl vytvořen požadavkový list a navrženy varianty k řešení. Výsledná varianta byla podrobněji zpracována, doplněna 3D modelem, kontrolními výpočty a výkresovou dokumentací.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HECZKO, D. *Adjustment of Mechanical Construction of the Frame of Robot Kraken 2: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2016, 59p., Head of thesis: Ing. Petr Široký

This thesis deals with modifying the frame of robot Kraken 2, which is designed for video detection of car chassis. At the first theoretical part there are described robots designed for monitoring. In the next section a request list was compiled and three variants of solution were designed. Subsequently, the resulting variant was elaborated in detail and supplemented 3D models, calculations and drawings.

Obsah

Seznam použitého značení.....	- 8 -
1. Úvod	- 9 -
2. Analýza.....	- 9 -
2.1. Servisní roboty vhodné pro monitorování.....	- 9 -
2.2. Kolové monitorovací roboty	- 10 -
2.2.1. Mini UGV Nerva LG	- 10 -
2.2.2. Robot RGi-RTR6x6-Z	- 11 -
2.2.3. Robot RGi-RTR4x4-W	- 11 -
2.2.4. Robot Kraken	- 13 -
2.3. Pásové monitorovací roboty.....	- 13 -
2.3.1. Robot 110 FirstLook	- 13 -
2.3.2. Robot Dragon Runner 20	- 14 -
2.4. Létající monitorovací roboty.....	- 15 -
2.4.1. Robot DJI S900.....	- 15 -
2.5. Další typy monitorovacích robotů.....	- 16 -
2.5.1. Kráčeující robot Hexapod Mark III	- 16 -
2.5.2. Plazící robot MSI MD Profiler	- 16 -
2.5.3. Podvodní robot - ponorka ODIN	- 16 -
2.6. Kamery	- 17 -
2.6.1. Kamera MD-B5026-3.0	- 17 -
2.6.2. Kamera MD-B2020U-3020	- 17 -
2.6.3. Kamera GH-C600	- 18 -
2.6.4. Kamera KP-NCAM02	- 19 -
2.7. Pohony.....	- 20 -
2.7.1. Motor EC 45 flat s 45 GS převodovkou	- 20 -
2.7.2. DC Motor G 30.0 s převodovkou PLG 32.....	- 20 -
2.7.3. Pohon PD4266	- 21 -
2.7.4. Metal Gearmotor 37Dx68L	- 22 -
3. Požadavkový list.....	- 23 -
4. Varianty řešení.....	- 24 -
4.1. Varianta A	- 24 -
4.2. Varianta B	- 25 -
4.3. Varianta C	- 25 -
5. Kriteriaální analýza	- 26 -
5.1. Hodnocená kritéria	- 26 -

5.2.	Stupnice hodnocení	- 26 -
5.3.	Významnost kritérií.....	- 27 -
5.4.	Metoda trojúhelníkových párů	- 27 -
5.5.	Hodnocení variant	- 28 -
6.	Konstrukční úprava robotu	- 29 -
6.1.	Spodní blok	- 29 -
6.2.	Přední blok	- 31 -
6.3.	Blok baterie	- 32 -
6.4.	Blok s elektronikou	- 33 -
6.5.	Horní blok	- 34 -
6.6.	Celý robot.....	- 35 -
7.	Montáž bloků.....	- 35 -
8.	Návrh alternativního pohonu	- 38 -
8.1.	Konstrukční řešení	- 38 -
8.2.	Cenový rozdíl	- 40 -
9.	Porovnání původního a upraveného robotu.....	- 40 -
9.1.	Porovnání parametrů	- 40 -
9.2.	Porovnání úprav	- 42 -
10.	Těsnění	- 43 -
11.	Výpočty	- 44 -
11.1.	Kontrola pohonů.....	- 44 -
11.2.	Kontrola ložisek.....	- 49 -
12.	Závěr.....	- 52 -
13.	Použitá literatura:.....	- 53 -
14.	Seznam obrázků.....	- 55 -
15.	Seznam tabulek.....	- 57 -
16.	Seznam příloh.....	- 58 -

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotka
m	Hmotnost robotu	[kg]
g	Tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
α	Úhel stoupání	[°]
ΣO	Suma všech odporů	[N]
O_f	Valivý odpor	[N]
O_s	Odpor stoupání	[N]
O_z	Odpor zrychlení	[N]
f_K	Součinitel valivého odporu	[-]
ϑ	Součinitel vlivu rotačních částí	[-]
v	Rychlost robotu	[m·s ⁻¹]
a	Zrychlení robotu	[m·s ⁻²]
r_K	Poloměr kola	[m]
F_H	Hnací síla	[N]
F_{H1}	Hnací síla na jeden pohon	[N]
P_{H1}	Výkon jednoho pohonu	[N]
n	Otáčky kola	[min ⁻¹]
m_c	Celková hmotnost robotu	[kg]
R_A	Reakce na předních kolech	[N]
R_B	Reakce na zadních kolech	[N]
R_{A1}	Reakce na předním kole	[N]
R_{B1}	Reakce na zadním kole	[N]
G	Tíhová síla robotu	[N]
a	Vzdálenost těžiště od reakce R_A	[mm]
b	Vzdálenost těžiště od reakce R_B	[mm]
R_{L1}	Reakce v ložisku převodovky	[N]
R_{L2}	Reakce v přidaném ložisku	[N]
c	Vzdálenost ložisek od jejich středů	[mm]
d	Vzdálenost reakce kola od středu ložiska	[mm]
ΣF_z	Suma sil v ose z	[N]
M_A	Moment k bodu A	[N·mm]
M_C	Moment k bodu C	[N·mm]

1. Úvod

V současné době je po servisních robotech stále větší poptávka. Využívají se v mnoha oblastech. V domácnostech jako vysavače, sekačky. Ve zdravotnictví pro obslužnou či transportní činnost. V průmyslu pro čištění, údržbu pracoviště a transport materiálu. Ve stavebnictví pro vyhlazování betonových ploch, usazování a manipulaci s těžkými předměty. Ve vojenském sektoru jako bezpilotní vozidla či monitoring okolí.

Servisní roboty pro monitoring mají široké využití. Používají se pro monitoring těžko dostupných nebo zcela nedostupných míst pro člověka např. inspekce potrubí, kanalizace. Monitoring míst po přírodní katastrofě např. pátrání v sutinách po zemětřesení. Nebo monitorování míst zamořených chemikáliemi či radioaktivitou.

Cílem těchto robotů je ulehčit lidem jejich práci. Ale hlavně zamezit úrazu nebo lidským ztrátám.

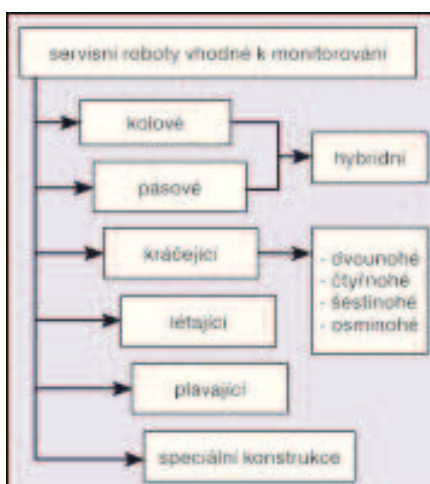
2. Analýza

Monitorování se využívá v různých nestrojírenských aplikacích. Nejen ve světě, ale i v našich zemích kromě mnoha jiných monitorovacích zařízení vykonávají úlohy tohoto typu také servisní roboty. Roboty bývají pro tyto úlohy vybaveny kamerovým systémem, který je schopen snímanou scénu zaznamenávat a snímaný obraz přenášet na stanoviště operátora. Servisní roboty lze s výhodou použít všude tam, kde je prostředí pro člověka nebezpečné, těžko dostupné, či dokonce zcela nedostupné. Jde např. o vyhledávání nebezpečného materiálu, zabezpečování ostrahy objektů, monitorování prostorů pro člověka nedostupných, podmořský průzkum apod. Uplatní se zde různé konstrukce servisních robotů, které jsou uzpůsobeny k práci na souši, pod vodou nebo i v kosmickém prostoru. Jako příklad lze uvést monitorování prostředí zamořeného radiací nebo chemickými látkami, monitorování kráterů sopek, podmořského dna, povrchu jiných planet apod. [1]

2.1. Servisní roboty vhodné pro monitorování

Rozdělení servisních robotů, které se využívají k monitorování prostředí, podle typu podvozku je znázorněno na obr. 1. K tomu, aby mohl robot splnit zadanou úlohu,

musí být kromě kamerového systému vybaven dalšími potřebnými senzory. Jejich počet a typ závisí na konkrétní aplikaci. [1]



Obr. 1 Servisní roboty vhodné pro monitorování [1]

2.2. Kolové monitorovací roboty

2.2.1. Mini UGV Nerva LG

Robot od společnosti BSS. Tento robot je určen pro vnitřní i vnější prostředí a pro různé aplikace, jako průzkumné mise. Je extrémně odolný a spolehlivý. Lze ho vyhodit do požadované oblasti - do oken budov, z auta nebo do přírody. Řídit lze z jakéhokoliv počítače, tabletu nebo chytrého telefonu. Po skončení mise se sám dokáže vrátit domů. Plně voděodolný, stupeň krytí IP 67. [2]



Obr. 2 Robot UGV Nerva LG[2]

Parametry robotu	
Rozměry (d;š;v)	350;310;150 mm
Hmotnost	4,5 kg
Rychlost	15 km/h
Stupeň krytí	IP 67

Tab. 1 Parametry robotu UGV Nerva LG

2.2.2. Robot RGi-RTR6x6-Z

Robot od společnosti Robotics Group. Tento robot je navržen pro venkovní i vnitřní prostředí a pro dlouhé tratě. Je vyroben z pevného hliníku tloušťky 2,5 mm. Pohon zajišťují dva motory s vysoce výkonnými převodovkami. Pohon všech šesti kol je proveden řemenovým převodem. Robot se řídí bezdrátově. [3]



Obr. 3 Robot RGi-RTR6x6-Z [3]

Parametry robotu	
Rozměry rámu (d;š;v)	330;355;127 mm
Hmotnost	5 kg
Natáčení kamery	$\pm 85^\circ$
Otáčky	600rpm
Materiál rámu	hliník 2,5 mm

Tab. 2 Parametry robotu RGi-RTR6x6-Z

2.2.3. Robot RGi-RTR4x4-W

Další robot od společnosti Robotics Group. Robot je speciálně navržen pro dlouhé vzdálenosti ve vnitřním i vnějším prostředí. Pohon zajišťují čtyři výkonné motory s převodovkami. Kamera s nočním viděním umožňuje robotu vidět ve tmě na velké vzdálenosti. [3]



Obr. 4 Robot RGi-RTR4x4-N [3]

Parametry robotu

Rozměry rámu (d;š;v)	305;200;76 mm
Hmotnost	5 kg
Natáčení kamery	$\pm 85^\circ$
Otáčky	235 rpm
Materiál rámu	hliník 2,5 mm

Tab. 3 Parametry robotu RGi-RTR4x4-N

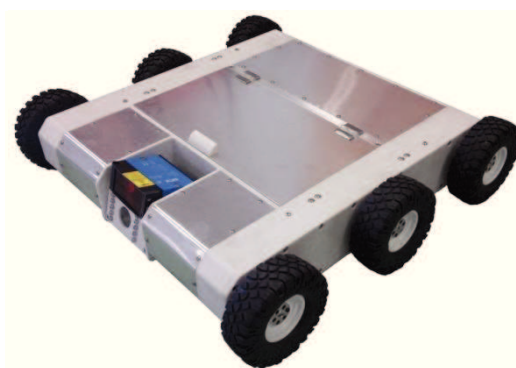
Další roboty této firmy jsou provedeny obdobně.



Obr. 5 Ostatní roboty firmy Robotics Group [3]

2.2.4. Robot Kraken

Je to robot vyvinutý na katedře robotiky VŠB-TU v Ostravě. Tento mobilní robot je primárně určen pro dálkové prověření stavu podvozku zaparkovaného silničního vozidla - konkrétně hledání připevněných výbušných systémů. Podvozek byl konstrukčně navržen s ohledem pro plánované použití a má proto zejména nízkou světlou výšku umožňující zajištění pod podvozek téměř všech osobních automobilů. Pro výrobu většiny částí konstrukce podvozku byl použit polykarbonát a technologie Rapid Prototyping. Robot je v přední části vybaven kamerovou hlavou obsahující barevnou kameru, LED osvětlení s regulovatelnou intenzitou a laserový dálkoměr. Kamerovou hlavu je možno natáčet kolem vodorovné osy. [4]



Obr. 6 Robot Kraken [4]

Parametry robotu

Rozměry (d;š;v)	552;560;90 mm
Hmotnost	21 kg
Materiál rámu	Polykarbonát

Tab. 4 Parametry robotu Kraken

2.3. Pásové monitorovací roboty

2.3.1. Robot 110 FirstLook

Robot je navržen pro pohyb ve vnitřním i vnějším prostředí. Tento robot je malý, lehký, ale odolný. Je schopen odolat pádu na beton z výšky čtyř a půl metru. Do jednoho metru je vodotěsný. Je obratný v mnoha prostředích, dokáže překonat překážky do 177 mm. Dokáže se obrátit na místě a při překlopení se sám vrátí do původní polohy. Má v sobě zabudované 4 kamery - vpředu, vzadu, a po stranách. [5]



Obr. 7 Robot 110 FirstLook [5]

Parametry robotu

Rozměry rámu (d;š;v)	254;229;102 mm
Hmotnost	2,3 kg
Rychlost	5,5 km/h

Tab. 5 Parametry robotu 110 FirstLook

2.3.2. Robot Dragon Runner 20

Robot od společnosti QinetiQ. Tento robot plní funkci monitorovací, ale zároveň nese rameno pro manipulaci s nebezpečnými látkami. Používají se pásové ústrojí pro zdolávání náročnějšího terénu. Robot je malý, robustní a odolný. Dokáže se pohybovat a manipulovat ve stísněných prostorech. Robot je možné rozšířit o více druhů nadstaveb. Nosnost robotu je 2 až 4,5 kg. [6]



Obr. 8 Dragon Runner 20 [6]

Parametry robotu

Rozměry rámu (d;š;v)	422;310;153 mm
Hmotnost	9 kg
Rychlost	6,2 km/h

Tab. 6 Parametry robotu Dragon Runner 20

2.4. Létající monitorovací roboty

2.4.1. Robot DJI S900

Robot od společnosti DJI. Tento létající robot navazuje svými konstrukčními prvky na svého předchůdce S800. Výhodou jsou sklopná ramena, která zmenší rozměry pro transport. Všechna ramena a zatahovací podvozek jsou vyrobená z odolného karbonu, který snižuje celkovou hmotnost a zároveň zvyšuje pevnost a stabilitu. Vhodné použití pro monitorování přírodních katastrof např. záplavy a požáry. Délka letu je omezena zdrojem energie na 18 minut. [7]



Obr. 9 Robot DJI S900 [7]

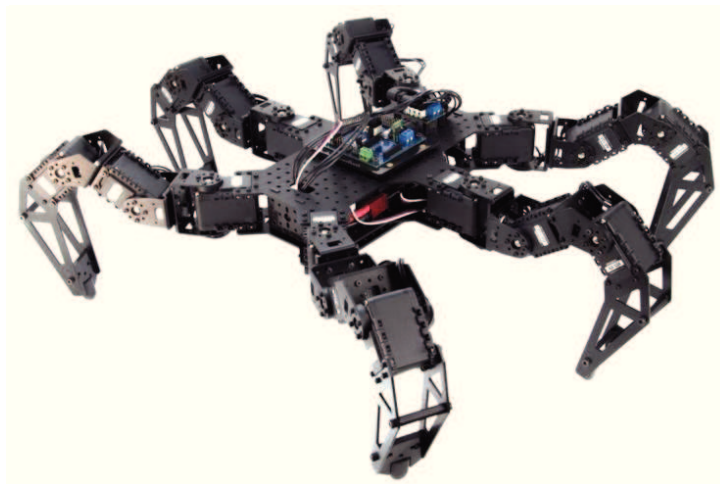
Parametry robotu

Rozměry rámu (d;š;v)	460;450;360 mm
Hmotnost	3,3 kg
Letová hmotnost	8,2 kg
Diagonální průměr	900 mm

Tab. 7 Parametry robotu S900

2.5. Další typy monitorovacích robotů

2.5.1. Kráčející robot Hexapod Mark III



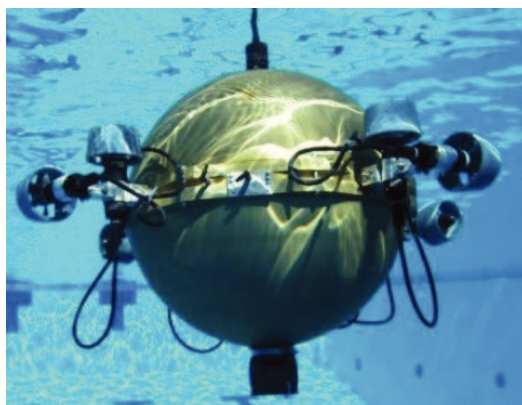
Obr. 10 Robot Hexapod Mark III [8]

2.5.2. Plazící robot MSI MD Profiler



Obr. 11 Modulární "Snake" robot [9]

2.5.3. Podvodní robot - ponorka ODIN



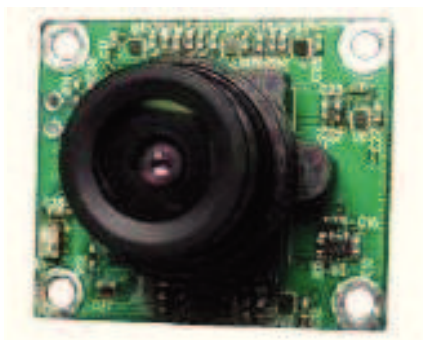
Obr. 12 Ponorka ODIN [10]

2.6. Kamery

Kamery jsou oči robotu. Monitorovací roboty jsou malé a mají malou nosnost, proto kamery musí mít co nejmenší rozměry a hmotnost. Pro monitorovací roboty se nejčastěji používají kamery s vysokým rozlišením, kamery s nočním viděním nebo kamery s termovizí. Jelikož by robot měl sledovat dění kolem sebe, některé kamery musí mít schopnost naklápět se.

2.6.1. Kamera MD-B5026-3.0

Kamera od společnosti MISUMI. Tato kamera má nastavitelné rozlišení -VGA, HD, Full HD a QXGA. Napájení je provedeno USB kabelem s výstupem USB 2.0. [11]



Obr. 13 Kamera MD-B5026-3.0 [11]

Parametry kamery	
Rozměry kamery (d;š;v)	26;22;25,6 mm
Rozlišení	1;2;5 MPX
Objektiv	f=3.0 mm, F2.0
Provozní teploty	-10° až +45°

Tab. 8 Parametry kamery MD-B5026-3.0

2.6.2. Kamera MD-B2020U-3020

Další kamera od společnosti MISUMI. Tato kamera má nastavitelné rozlišení - CIF, VGA, HD, Full HD. Její rozlišení je maximálně 2MPX. Dobíjení je zajištěno opět USB kabelem s výstupem USB 2.0. [12]



Obr. 14 Kamera MD-B2020U-3020 [12]

Parametry kamery

Rozměry kamery (d;š)	20;48 mm
Rozlišení	1;2;5 MPX
Objektiv	f=3.0 mm, F2.0
Provozní teploty	-10° až +45°

Tab. 9 Parametry kamery MD-B2020U-3020

2.6.3. Kamera GH-C600

Tato kamera má funkci nočního vidění 11 IR LED. Reálný dosah nočního vidění je pět metrů. Má vestavěný nabíjecí akumulátor Li-ion. Dosah přenosu je 100 metrů, v budovách 30 metrů, záleží na povětrnostních podmínkách. [13]



Obr. 15 Kamera GH-C600 [13]

Parametry kamery

Rozměry kamery (d;š)	90;30 mm
Rozlišení	628x582
Objektiv	f=3.0 mm, F2.0
Provozní teploty	-10° až +50°

Tab. 10 Parametry Kamery GH-C600

2.6.4. Kamera KP-NCAM02

Nejmenší kamera na světě s nočním viděním má v sobě zabudovaný i mikrofón. Váží pouhých 35 gramů. Noční vidění lze použít maximálně na 5 metrů, podle povětrnostních podmínek. Dosah přenosu je 30 až 100 metrů. [14]



Obr. 16 Kamera KP-NCAM02 [14]

Parametry kamery

Rozměry kamery (d;š;v)	23;23;20 mm
Provozní teploty	-20° až +60°
Dosah přenosu	30 až 100 m

Tab. 11 Parametry kamery KP-NCAM02

2.7. Pohony

Pro malé monitorovací roboty ve snaze minimalizovat rozměry, je základem pohon s co nejvyšším výkonem, ale malým rozměrem.

2.7.1. Motor EC 45 flat s 45 GS převodovkou

Pohon od společnosti Maxon má velice malé rozměry a vysoký výkon. Cenově už není tolik přístupný. Převodovka s účinností 87%. Motor o výkonu 30W. Na výstupu hřídele maximální krouticí moment 0,5 Nm. Lze chvilkově přetížit na 0,75 Nm. [15]



Obr. 17 Motor Maxon EC 45 flat [15]



Obr. 18 Převodovka GS 45 A [15]

Parametry pohonu

Délka pohonu	39,9 mm
Výkon	30 W
Napájecí napětí	12 V
Otáčky	2 910 min ⁻¹
Převodový poměr	9,3:1
Max. krouticí moment	0,5 Nm
Špičkový krouticí moment	0,75 Nm
Cena pohonu	5 224 Kč

Tab. 12 Parametry pohonu Maxon

2.7.2. DC Motor G 30.0 s převodovkou PLG 32

Pohon od společnosti Dunkermotoren, převodovka s vysokou účinností 90%. Rozměry jsou udávány bez enkodéru. Motor o výkonu 10 W. Maximální krouticí moment z převodovky 0,4 Nm. [16]



Obr. 19 Motor G 30.0 [16]



Obr. 20 Převodovka PLG 32 [16]

Parametry pohonu	
Délka pohonu	105 mm
Výkon	10 W
Napájecí napětí	12 V
Otáčky	2 980 min ⁻¹
Převodový poměr	6,25:1
Max. krouticí moment	0,4 Nm
Cena pohonu	5 000 Kč

Tab. 13 Parametry pohonu Dunkermotoren

2.7.3. Pohon PD4266

DC pohon série PD4266 s planetovou převodovkou. Účinnost převodovky 70%. Celková délka je udávána bez enkodéru. [17]



Obr. 21 Pohon série PD4266 [17]

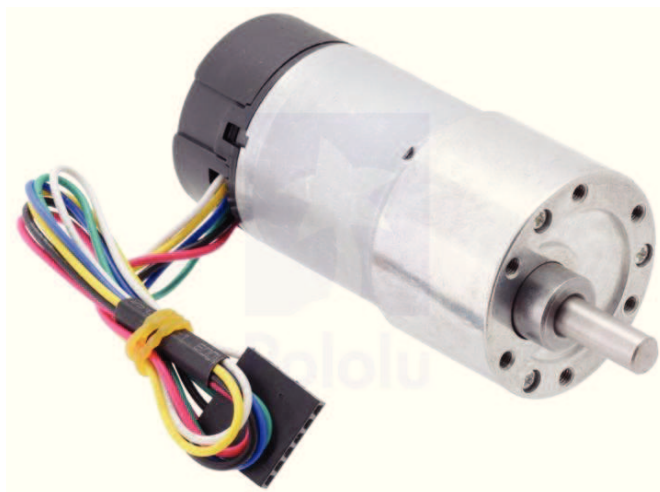
Parametry pohonu

Délka pohonu	105,2 mm
Výkon	35 W
Napájecí napětí	12 V
Otáčky	5 700 min ⁻¹
Převodový poměr	17:01
Nominální krouticí moment	0,78 Nm
Cena pohonu	4 600 Kč

Tab. 14 Parametry pohonu PD4266

2.7.4. Metal Gearmotor 37Dx68L

Pohon od společnosti Pololu. Celková délka pohonu se udává včetně motoru, převodovky a enkodéru. Maximální výstupní krouticí moment téměř 0,8 Nm. [18]



Obr. 22 Pololu motor s převodovkou a enkodérem [18]

Parametry pohonu

Délka pohonu	68 mm
Napájecí napětí	12 V
Otáčky	11 000 min ⁻¹
Převodový poměr	30:1
Max. krouticí moment	0,78 Nm
Cena pohonu	1 278 Kč

Tab. 15 Parametry motoru Metal Gearmotor 37Dx68L

3. Požadavkový list

Použití - monitoring podvozku automobilu

Světlá výška monitorovaných automobilů - minimálně 110 mm

Prostředí - vnitřní / vnější

Těsnění - minimálně IP 43

Hmotnost - do 6 kg

Materiál rámu - slitina hliníku EN AW 6060

Počet kol - čtyři

Pohon - elektrický, každé kolo samostatný pohon

Maximální rozměry rámu ($d \times š \times v$) - $235 \times 200 \times 65$ mm

Otočné uložení pro leap motion - rovnoběžně s osou rotace kol

Rychlost - v rovině - 1,5 m/s

- nakloněná rovina 1 m/s

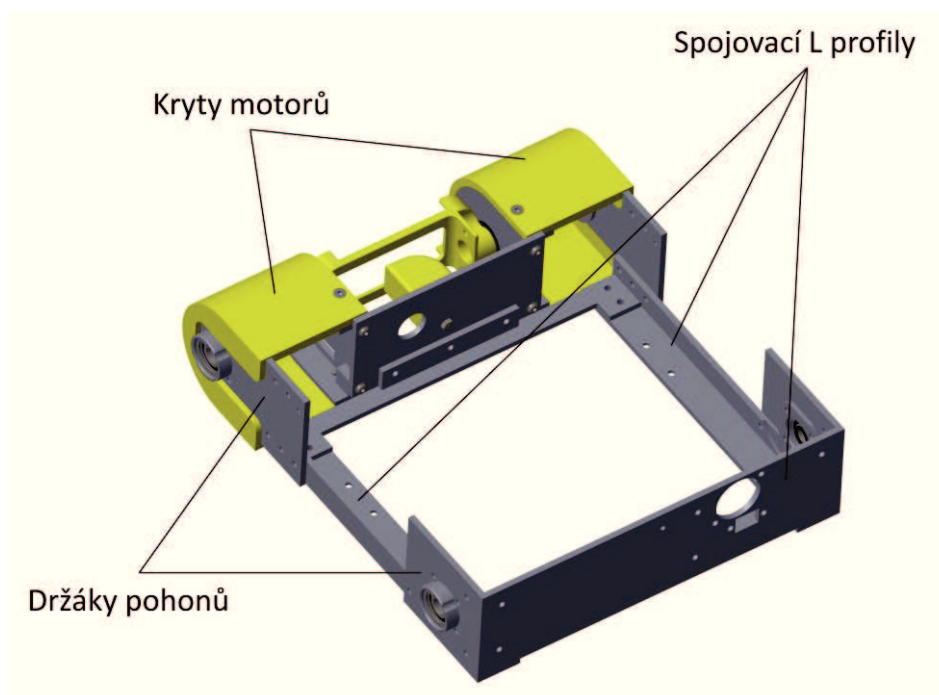
Zrychlení - v rovině - 1 m/s^2

- nakloněná rovina $0,5 \text{ m/s}^2$

4. Varianty řešení

Byly vytvořeny tři varianty konstrukční úpravy rámu robotu. Varianty vychází z již navrženého modelu a vybraných jednotlivých komponent jako např. pohon či elektronika.

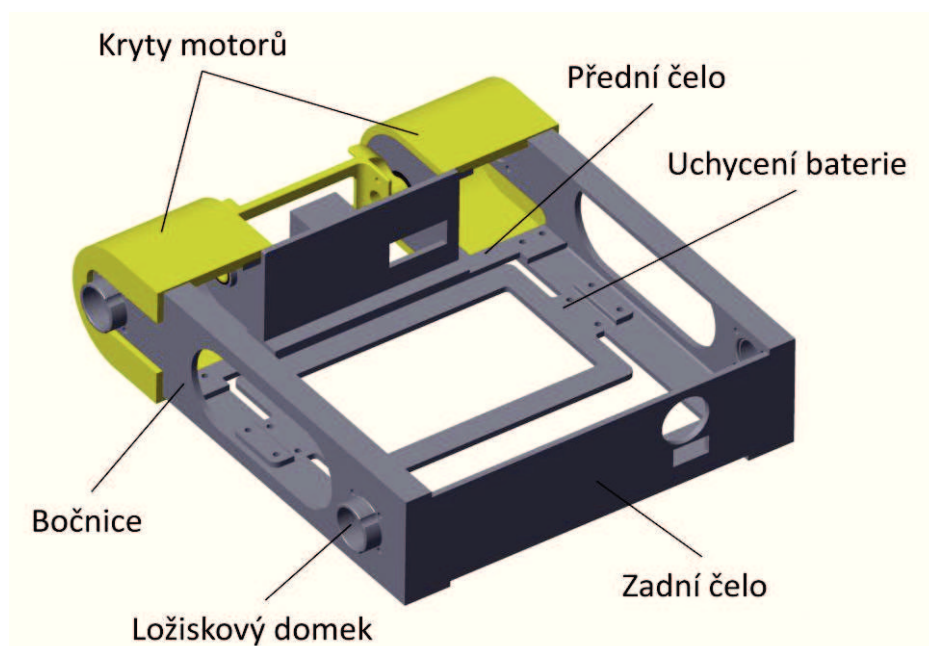
4.1. Varianta A



Obr. 23 Varianta A

V této variantě se nosný rám skládá z jednotlivých kusů. Držáky pohonů jsou vyrobeny včetně ložiskového domku z jednoho bloku hliníku. Kostru tvoří bočnice z L profilů. Všechny části jsou spojeny pomocí šroubů a zajištěny maticemi.

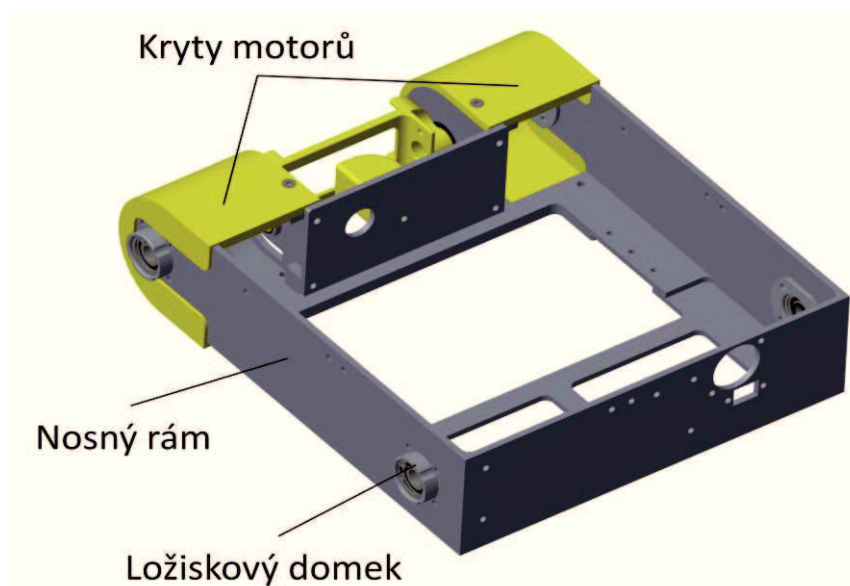
4.2. Varianta B



Obr. 24 Varianta B

V této variantě jsou použity bočnice v jednom kuse z jednotlivých profilů, do kterých se vloží zvlášť vyrobený ložiskový domek. Bočnice jsou propojeny předním a zadním čelem. Konstrukce je spojena pomocí šroubů.

4.3. Varianta C



Obr. 25 Varianta C

Nosný rám je vyroben v celku. Buď frézováním z jednoho bloku hliníku nebo odléváním. Do rámu jsou vloženy ložiskové domky. Rám v celku zajišťuje robustnost robotu a jednodušší montáž.

5. Kriteriaální analýza

Z navržených variant bude jedna varianta vybrána pro detailnější rozpracování. K výběru optimální varianty je použita kriteriaální analýza. Byly určeny jednotlivá kritéria k posouzení. U všech variant budou tyto kritéria vyhodnocena. Díky metodě porovnávání párů v trojúhelníku a počtu voleb se určí váha významností jednotlivých kritérií. Dále zjistíme vážený index vynásobením jednotlivých bodů váhou významnosti. Tyto indexy se sečtou a porovnají. Optimální varianta bude ta s nejvíce body.

5.1. Hodnocená kritéria

Hodnocená kritéria	Název	Popis
1	Náklady	Odhad přibližných nákladů
2	Hmotnost	Hmotnost rámu
3	Náročnost výroby	Náročnost výroby
4	Složitost konstrukce	Složitost montáže
5	Odpad	Odpad při obrábění

Tab. 16 Hodnocená kritéria

5.2. Stupnice hodnocení

Stupnice je vyznačena body od 6 do 1, kde 6 je nejvíce příznivý stav a 1 je nejméně příznivý stav.

Stupnice hodnocení	
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 17 Stupnice hodnocení

5.3. Významnost kritérií

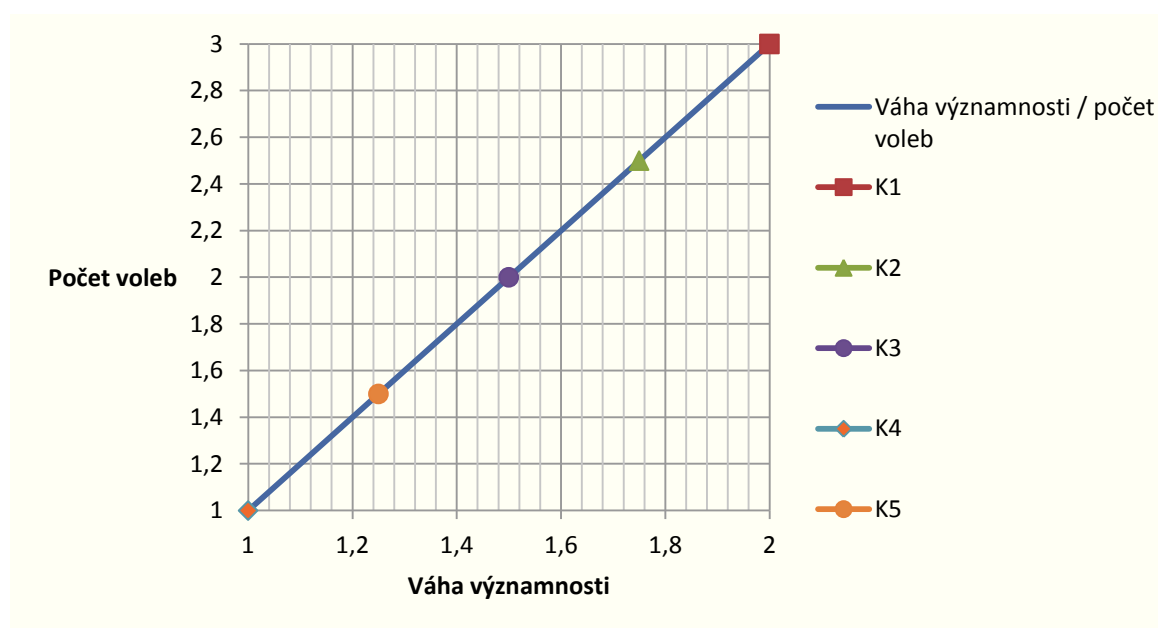
Významnost kritérií	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 18 Významnost kritérií

5.4. Metoda trojúhelníkových párů

				Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
k1	k1	k1	k1	3	1.	2
k2	k3	k4	k5			
	k2	k2	k2	2,5	2.	1,75
	k3	k4	k5			
		k3	k3	2	3.	1,5
		k4	k5			
			k4	1	5.	1
			k5			
				1,5	4.	1,25

Tab. 19 Určení významnosti kritérií



Obr. 26 Závislost počtu voleb na významnosti

5.5. Hodnocení variant

Varianta A

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria l_{ij}^*
k1	3	2	6
k2	4	1,75	7
k3	4	1,5	6
k4	3	1	3
k5	5	1,25	6,25
Celkový součet vážených indexů l_{ij}^* varianty A:			28,25

Tab. 20 Hodnocení varianty A

Varianta B

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria l_{ij}^*
k1	4	2	8
k2	4	1,75	7
k3	5	1,5	7,5
k4	4	1	4
k5	5	1,25	6,25
Celkový součet vážených indexů l_{ij}^* varianty B:			32,75

Tab. 21 Hodnocení varianty B

Varianta C

	Hodnota	Významnost kritéria	Vážený index kritéria l_{ij}^*
k1	2	2	4
k2	4	1,75	7
k3	2	1,5	3
k4	6	1	6
k5	3	1,25	3,75
Celkový součet vážených indexů l_{ij}^* varianty C:			23,75

Tab. 22 Hodnocení varianty C

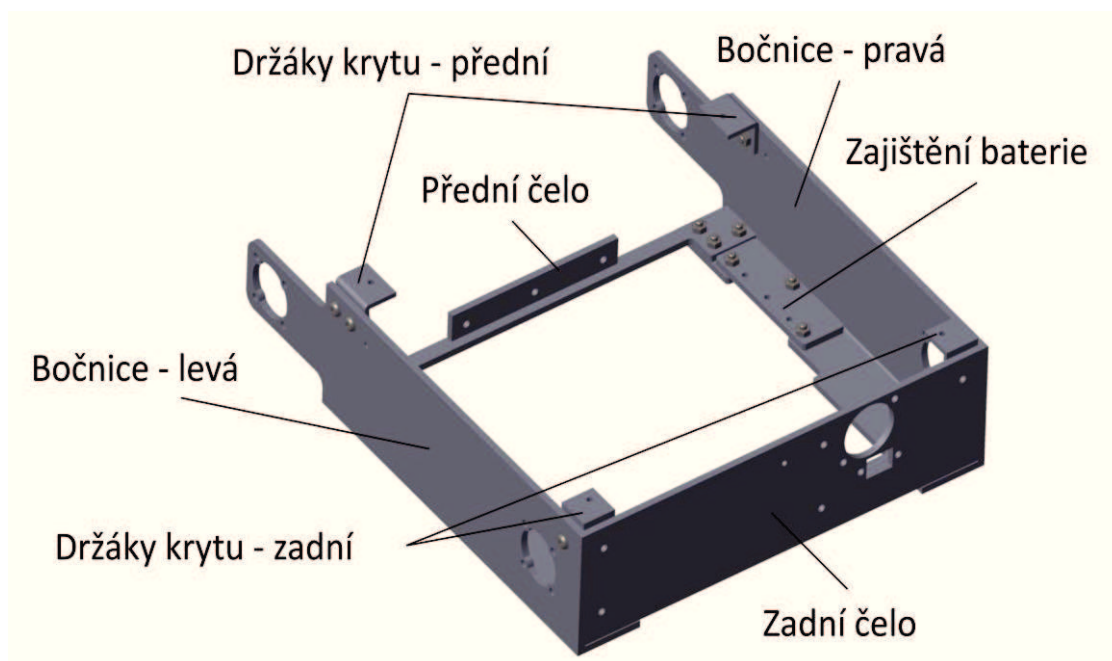
Podle kritériální analýzy je vítěznou variantou varianta B. Součet vážených indexů této varianty je 32,75.

6. Konstrukční úprava robotu

Pro lepší přehlednost a jednodušší montáž je robot rozdělen do jednotlivých bloků.

6.1. Spodní blok

Kostrou spodního bloku je nosný rám (Obr. 27). Nosný rám se skládá z jednotlivých plechů a profilů. Tyto profily jsou vyrobeny ze slitiny hliníku EN AW 6060 dostupné od společnosti Ehlinik. [19]



Obr. 27 Nosný rám

Do bočnic jsou vyrobeny díry pro uchycení ložiskového domku. Bočnice jsou propojeny předním a zadním čelem. Bočnice jsou vyrobeny z L profilů, čímž zajišťují souosost pohonů. Plní i funkci krytu, proto jsou v jednom kuse a bez odlehčení.

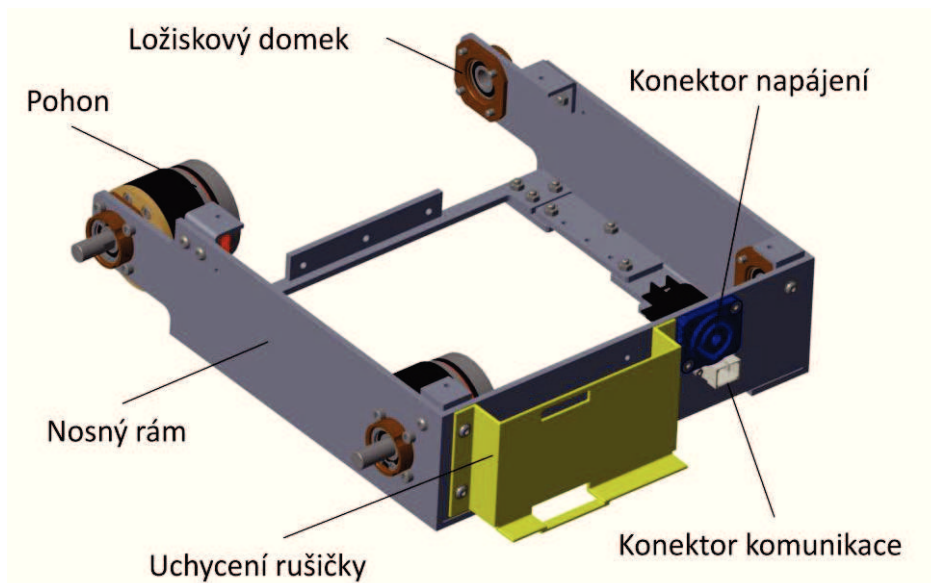
Do zadního čela jsou vyrobeny otvory pro vložení konektorů napájení a komunikace. K zadnímu čelu se připevňují i uchycení pro rušičku signálu.

Přední čelo slouží pro spojení předního bloku se spodním blokem.

K bočnicím jsou připevněny desky - zajištění baterie, pomocí zápusťných šroubů. Do zajištění baterie jsou vyrobeny závitové díry.

V horní části jsou připevněny k bočnicím držáky krytů. Dva přední a dva zadní, do držáků jsou vyrobeny závitové díry.

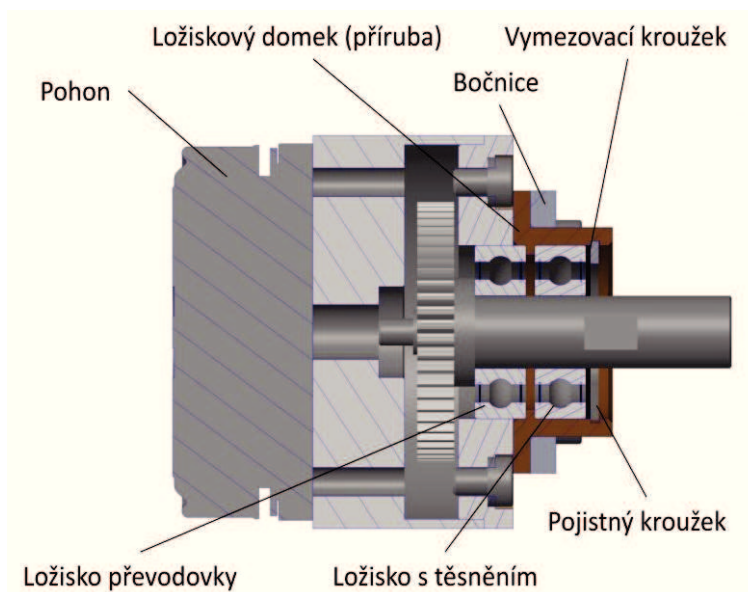
K nosnému rámu bude připevněn kryt ze spodní strany, proto jsou bočnice s čely spojeny pomocí zápusťných šroubů a zajištěny maticemi, aby hlavy klasických šroubů neodtlačovaly spodní kryt.



Obr. 28 Spodní blok

Nosný rám doplněn o další komponenty (Obr. 28). Pro lepší viditelnost byly pohony v pravé bočnici skryty a ložiskové domky odlišeny hnědou barvou. Do děr v bočnicích se vloží ložiskové domky s pohony. Každý pohon se zajistí pomocí čtyř šroubů.

Uchytení rušičky je vyrobeno z polykarbonátu pomocí 3D tisku. Otvory slouží k uchycení popruhu, který drží rušičku signálu.



Obr. 29 Řez uložením pohonu

Do ložiskového domku se nasune ložisko a opře se o segment. Proti axiálnímu posunutí se zajistí pojistným kroužkem. K zabránění případného kontaktu pojistného kroužku s vnitřním tělesem ložiska, slouží vymezovací kroužek mezi ložiskem a pojistným kroužkem. Bylo použito ložisko 619/8-2RS1 s oboustranným těsněním od společnosti SKF. [20]

Pohon se nasune do ložiskového domku. Ložisko převodovky se opře o segment v ložiskovém domku.

6.2. Přední blok

Účelem předního bloku je otočné uchycení pro Leap Motion. Zařízení Leap Motion snímá pohyb rukou a umožňuje tak interaktivní ovládání a manipulaci s objekty ve virtuální a rozšířené realitě. [21]



Obr. 30 Přední blok

Pro lepší viditelnost byl na Obr. 30 levý kryt motoru skryt. Kryty motorů jsou vyrobeny z polykarbonátu pomocí 3D tisku. Jsou v nich vytvořeny díry pro vložení IR LED diod a pro vložení kluzného pouzdra IGLIDUR GFM 1214-06. [22]

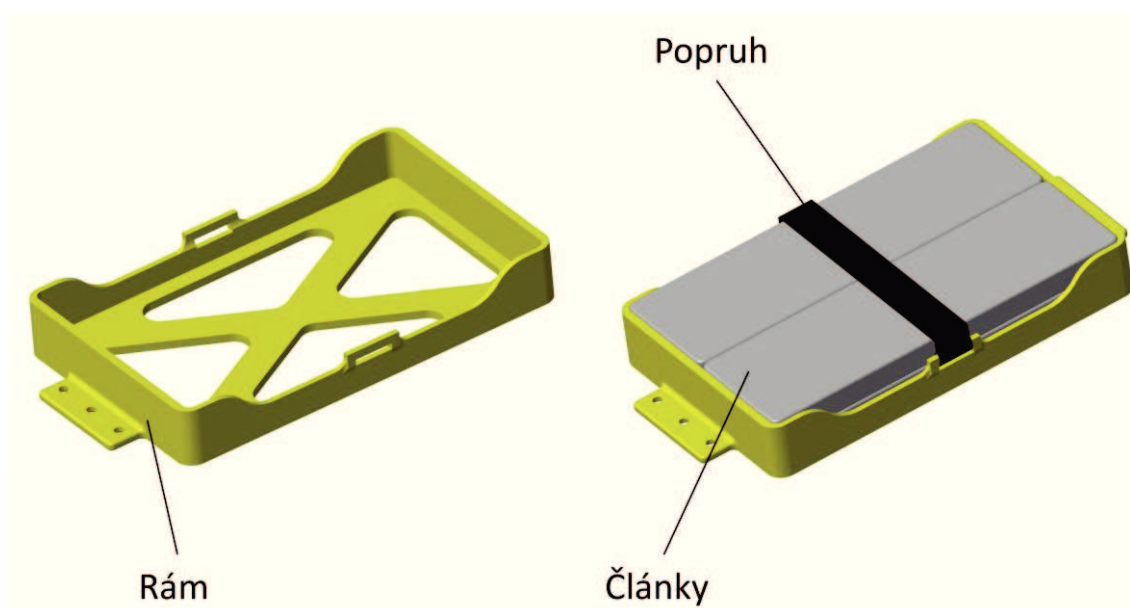
Leap Motion je uchycen v držáku vyrobeném pomocí 3D tisku z polykarbonátu a vložen do kluzných pouzder. Otáčení zajišťuje mikroservo pomocí oboustranného ramene. Mikroservo je vloženo a zajištěno šroubem v držáku, který je připevněn k hliníkové desce.

Hliníková deska slouží k uchycení krytů motorů a držáku mikroserva. Pomocí této desky se připevní přední blok k spodnímu bloku. Leap Motion je chráněn průhledným krytem, který je připevněn ke krytům motorů.

Aby nedocházelo k deformaci závitu v polykarbonátu, jsou do součástí vyrobených z polykarbonátu vloženy závitové vložky.

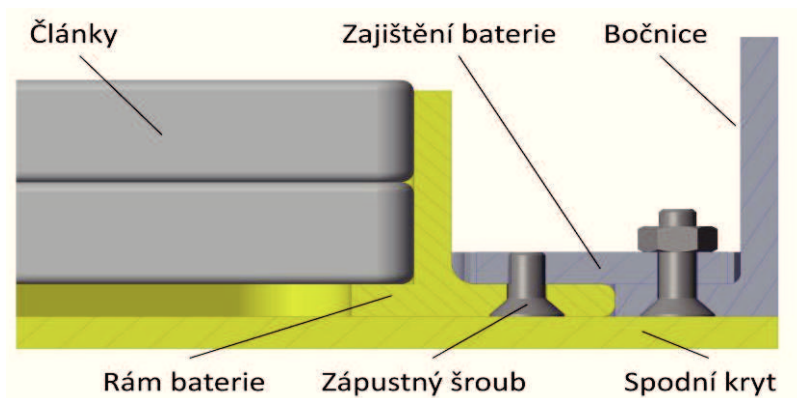
6.3. Blok baterie

Byl navržen držák baterií, který umožňuje rychlou výměnu aku packu při zásahu, kde není čas a prostor na nabití robotu.



Obr. 31 Baterie

Rám pro uchycení baterie je vyroben z polykarbonátu. Do rámu se vejdou čtyři články LiPo pack HP G3 CX s kapacitou 4 000 mAh.[23] Články se zajistí bezpečnostním popruhem proti pohybu, při jízdě robotu.

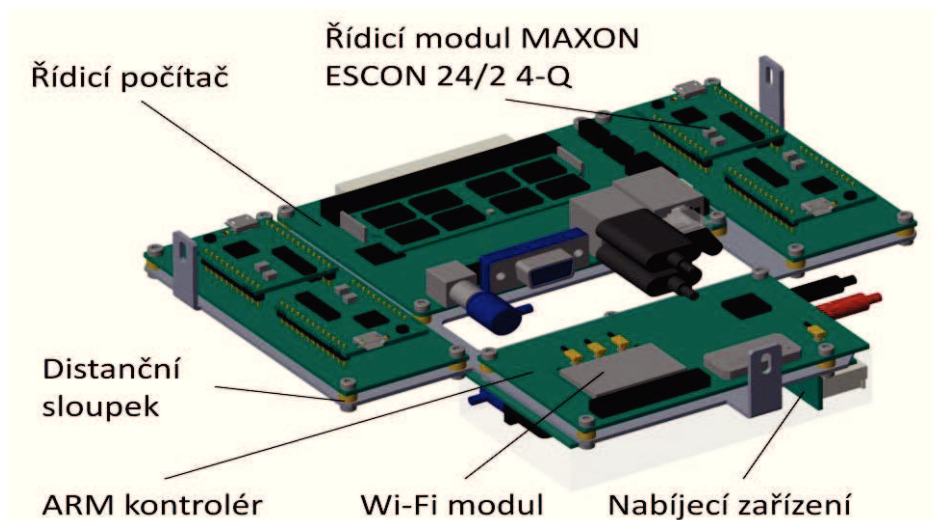


Obr. 32 Uchycení baterie

K demontáži baterie stačí sundat spodní kryt, který je zajištěn zápustnými šrouby. Poté vyndat rám s baterií, který je přichycen k desce se závitovými dírami. Jsou použity zápustné šrouby, aby hlavy šroubů neodtlačovaly spodní kryt.

6.4. Blok s elektronikou

S elektronikou nebyly provedeny žádné změny. Rám byl přizpůsoben tak, aby deska s elektronikou šla připevnit i s původními rozměry. Bylo potřeba posunout pár komponent z důvodu vnitřní kolize s jinými součástmi.



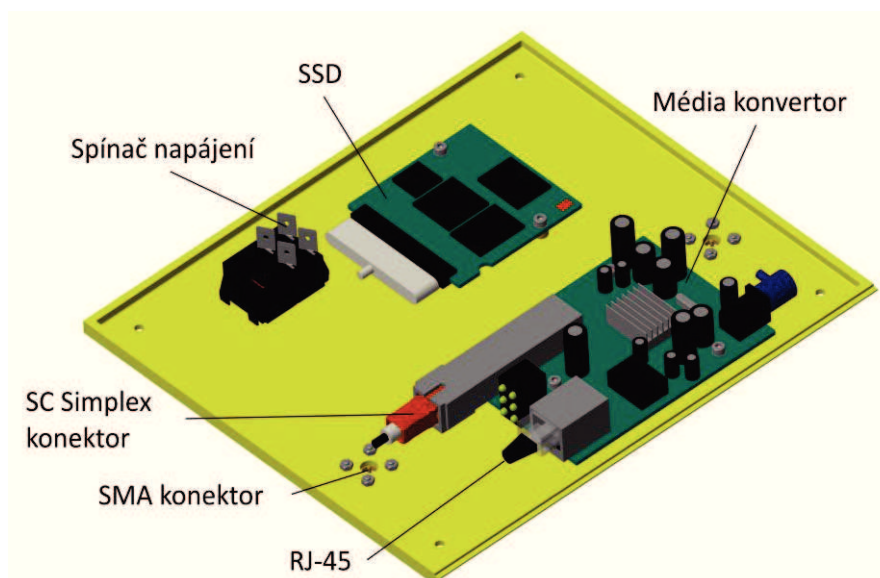
Obr. 33 Deska s elektronikou

Distanční sloupky přispívají k lepšímu chlazení komponent. Kontrolér s mikroprocesorem ARM zajišťuje řízení pohonů, ovládání digitálního mikroserva a IR LED přísuvu. Kromě toho nese sloty pro připojení komunikačních modulů. [21]

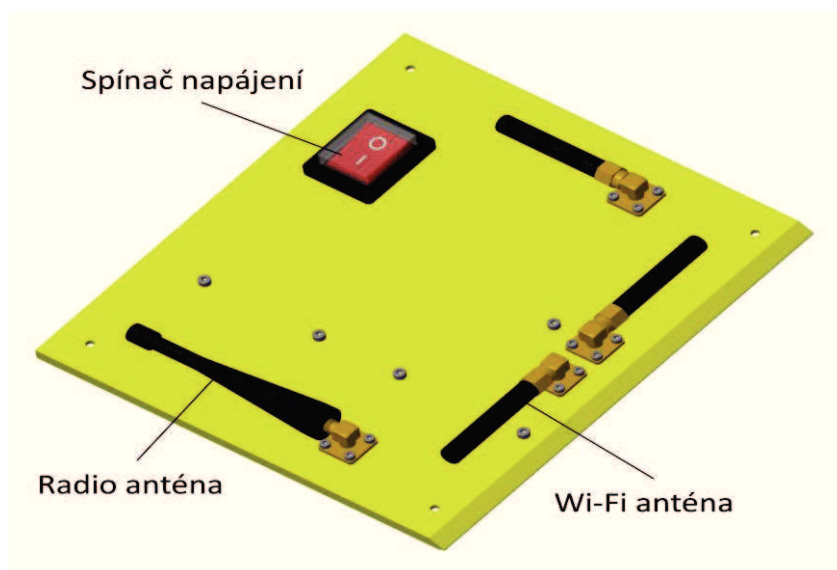
6.5. Horní blok

Horní blok je horní kryt osazen elektronikou a anténami. S elektronikou nebyly provedeny žádné změny. Kryt bylo nutné zvednout o 3 mm, aby nedocházelo ke kolizi s dalšími komponenty.

Horní blok je osazen SMA konektory spolu s anténami, spínačem napájení, media konvertorem a SSD. Antény jsou orientovány tak, aby pokryly co největší oblast okolí robota. [21]



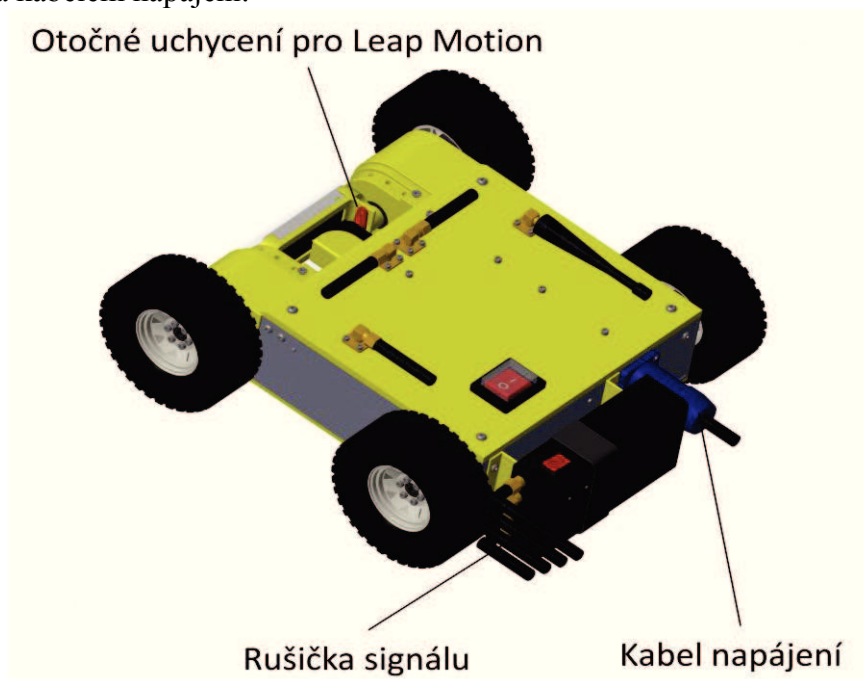
Obr. 34 Horní blok - vnitřní strana



Obr. 35 Horní blok - vnější strana

6.6. Celý robot

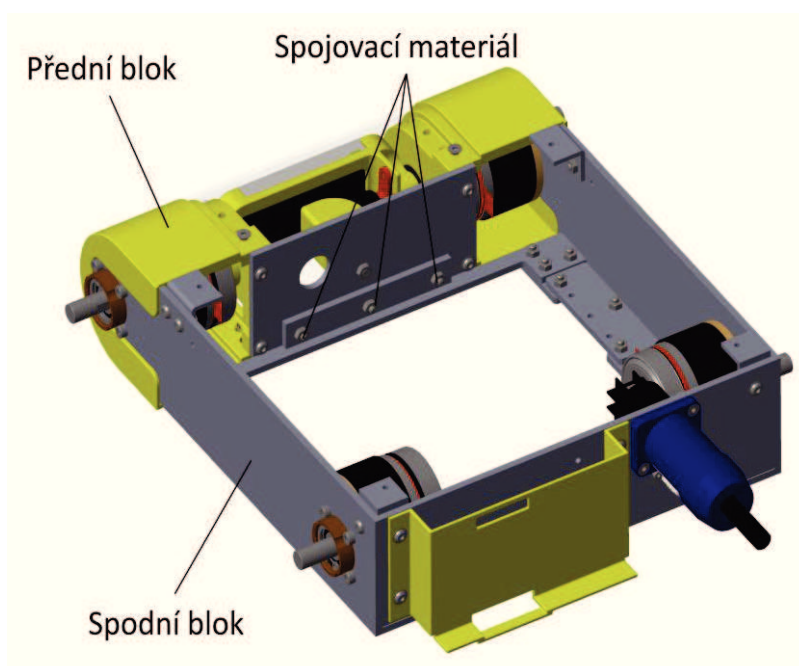
Celý robot sestaven z jednotlivých bloků. Doplněn o rušičku signálu, zajištěnou popruhem a kabelem napájení.



Obr. 36 Celý robot

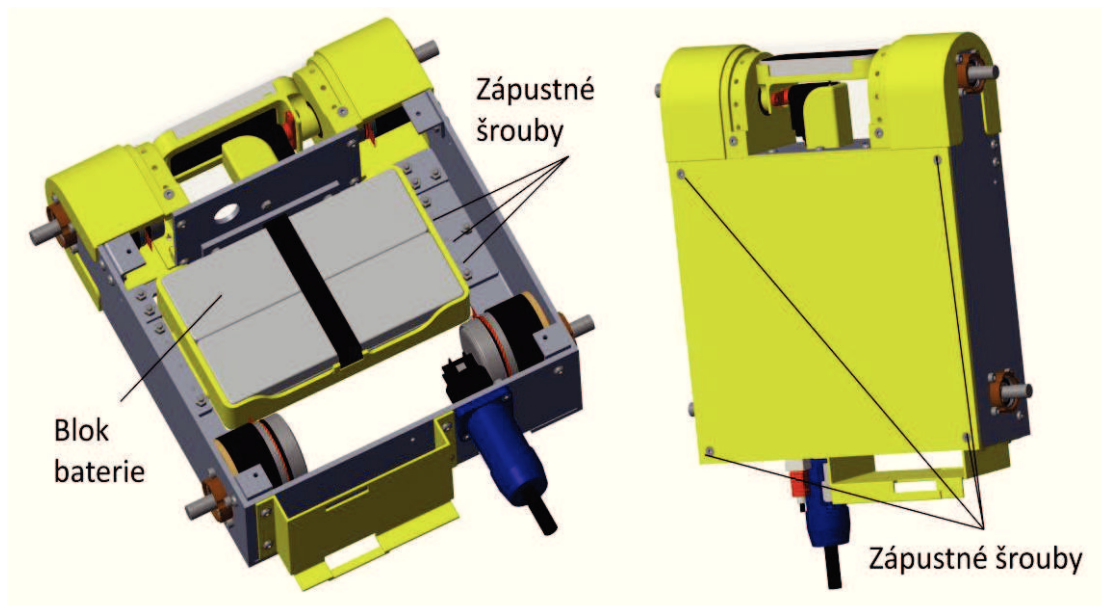
7. Montáž bloků

Přední blok se nasune na spodní blok. Kryty motorů se opřou o bočnice spodního bloku. Tímto tvarovým stykem se zajistí posunutí ve vertikálním směru. Pomocí tří šroubů se spojí deska předního bloku a přední čelo spodního bloku. Po zajištění se nasune průhledný kryt na Leap Motion a přišroubuje se.



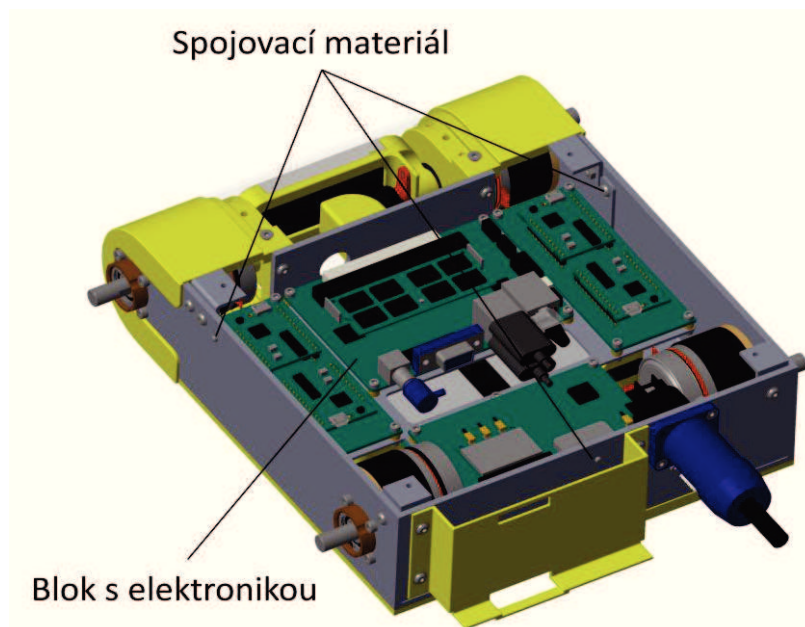
Obr. 37 Montáž předního bloku

Blok baterie se připevní k spodnímu bloku pomocí zápusťných šroubů. Poté se připevní spodní kryt a zajistí se opět zápusťnými šrouby, aby nedocházelo k zmenšení světlosti robotu.



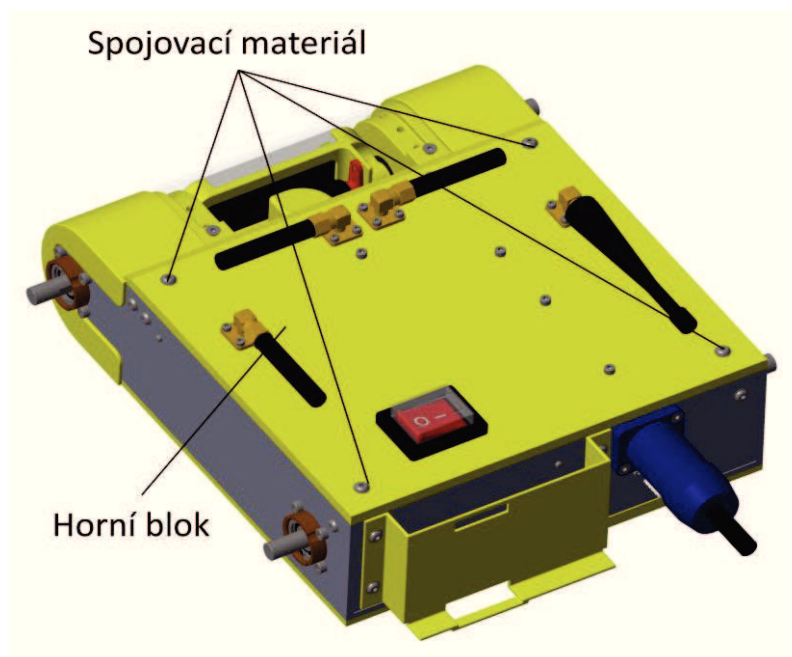
Obr. 38 Montáž bloku baterie a spodního krytu

Blok s elektronikou se opře o blok baterie. Do bočnic a zadního čela jsou vytvořené závitové díry. Kostrou tohoto bloku je ohnutý plech, ve kterém jsou vytvořené oválné díry, díky kterým lze nastavit požadovaná výška usazení.



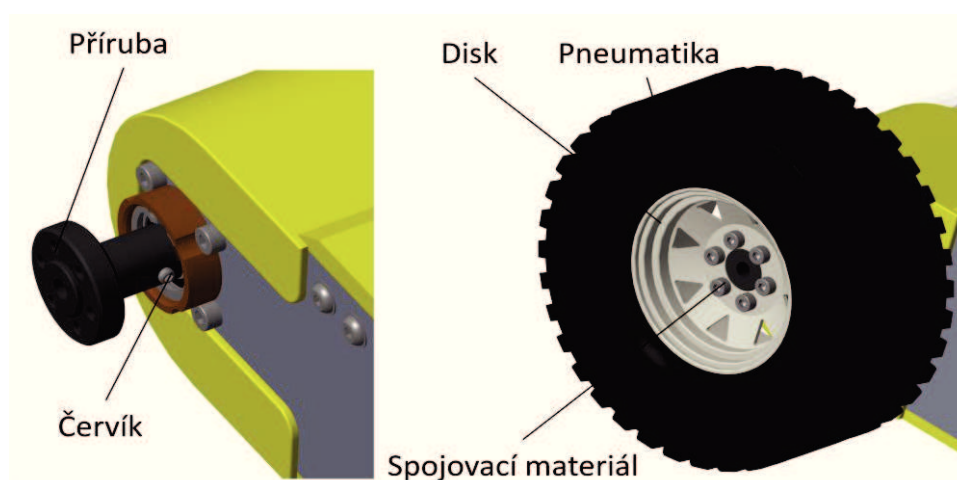
Obr. 39 Montáž bloku s elektronikou

Horní blok se usadí na spodní blok a opře o držáky krytu. V držácích jsou závitové díry, do kterých se horní blok připevní.



Obr. 40 Montáž horního bloku

Na hřídel převodovky se nasune příruba pro uchycení kola. Proti axiálnímu posunutí a přenosu krouticího momentu se zajistí červíkem. Na přírubu se nasadí disk s pneumatikou a zajistí pomocí šroubů.



Obr. 41 Montáž kol

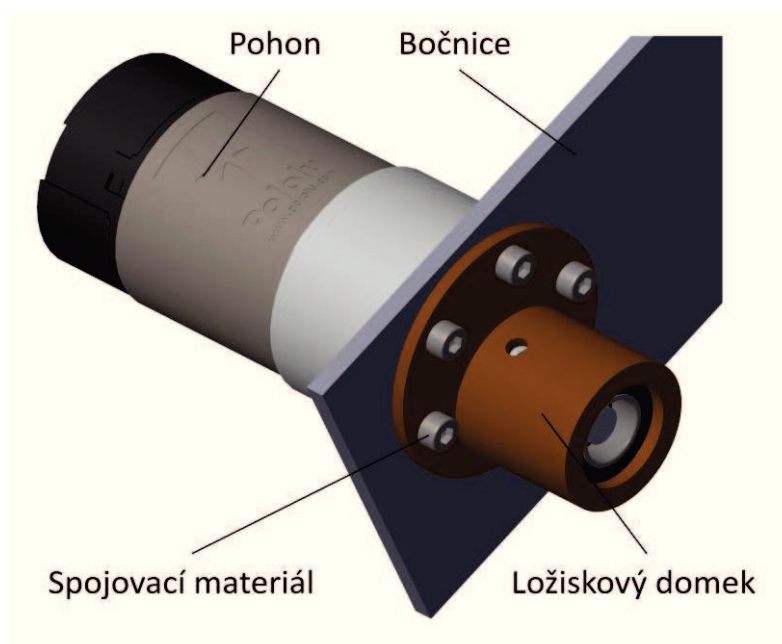
8. Návrh alternativního pohonu

8.1. Konstrukční řešení

Původní navržený pohon je motor Maxon EC 45 flat a převodovka GS 45 A. [15] Rozměrově je malý, má velký výkon a je přetížitelný. Nevyhovujícím faktorem je vysoká cena. Pro ekonomickou úsporu byla navržena levnější varianta pohonu. Ale za cenu snížení rychlosti, zrychlení robotu a zvětšení šířky rámu. Pro tento alternativní pohon bylo nutné navrhnout nové uchycení v rámu robotu.

Byl vybrán pohon Gearmotor 37Dx68L od společnosti Pololu. Celková délka pohonu je 68 mm - včetně enkodéru a převodovky. Převodový poměr je 1:30, maximální výstupní otáčky jsou 350 rpm a maximální výstupní kroutící moment je 0,78 Nm. [18]

Z důvodu malého průměru a délky výstupní hřídele převodovky bylo navrženo uchycení tak, aby radiální síly zachytil nosný rám.



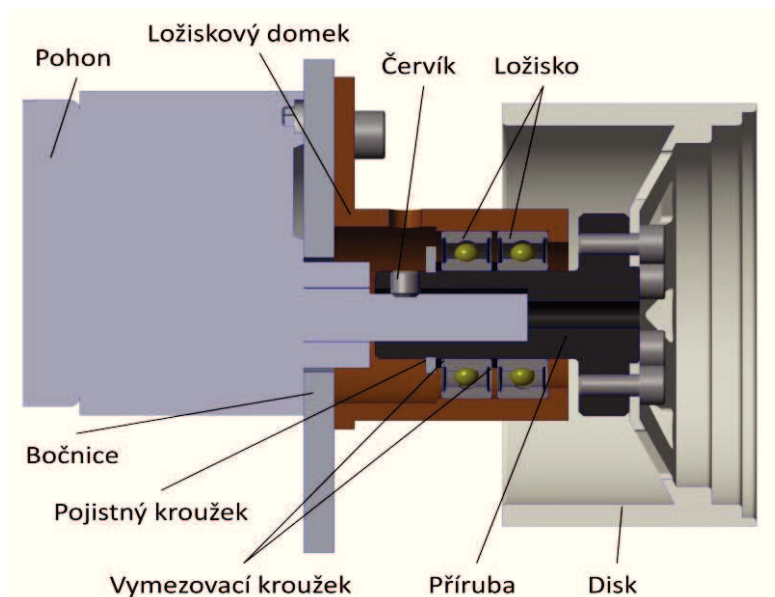
Obr. 42 Alternativa pohonu

Do ložiskového domku se vloží ložiska, z pravé strany se vsune příruba a ložiska se zajistí pojistným kroužkem. Do příruby se lehce našroubuje červík. Ložiskový domek se přichytí k bočnici a z levé strany se nasune pohon. Poté se pohon zajistí pomocí šroubů a červík se dotáhne přes díru k tomu určenou. Jakmile bude pohon držen, připevní se disk s pneumatikou k přírubě. Mezi ložiska a pojistný kroužek byly vloženy vymezovací

kroužky, aby nedocházelo k případnému kontaktu vnějšího kroužku ložiska s pojistným kroužkem.

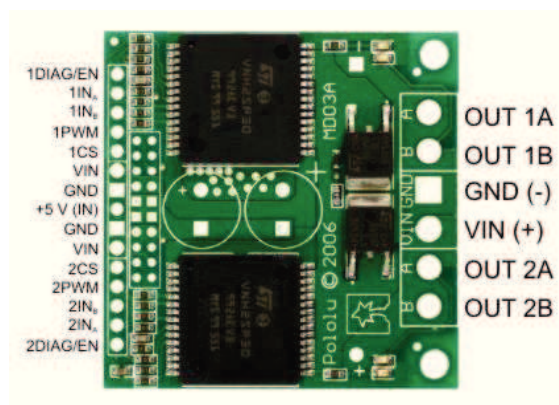
Byly použity dvě ložiska 61800-2RS1 s oboustranným těsněním od společnosti SKF pro lepší zachycení klopných momentů[24].

Tyto ložiska nebudou kontrolovány. Je to jen možný návrh, jak by šlo snížit náklady, ale za cenu snížení výkonnostních parametrů jako rychlosti, zrychlení a navýšení rozměrů.



Obr. 43 Řez uložením alternativního pohonu

Použitý motor je kartáčový, proto je potřeba zvolit jinou řídicí jednotku. Byla zvolena řídicí jednotka Dual VNH2SP30 od společnosti Pololu. Jedna jednotka dokáže řídit dva motory [25].



Obr. 44 Řídicí jednotka Dual VNH2SP30 [25]

8.2. Cenový rozdíl

Kurz na švýcarský frank ke dni 3.5.2016 podle ČNB je 1CHF = 24,6380 Kč. [26]

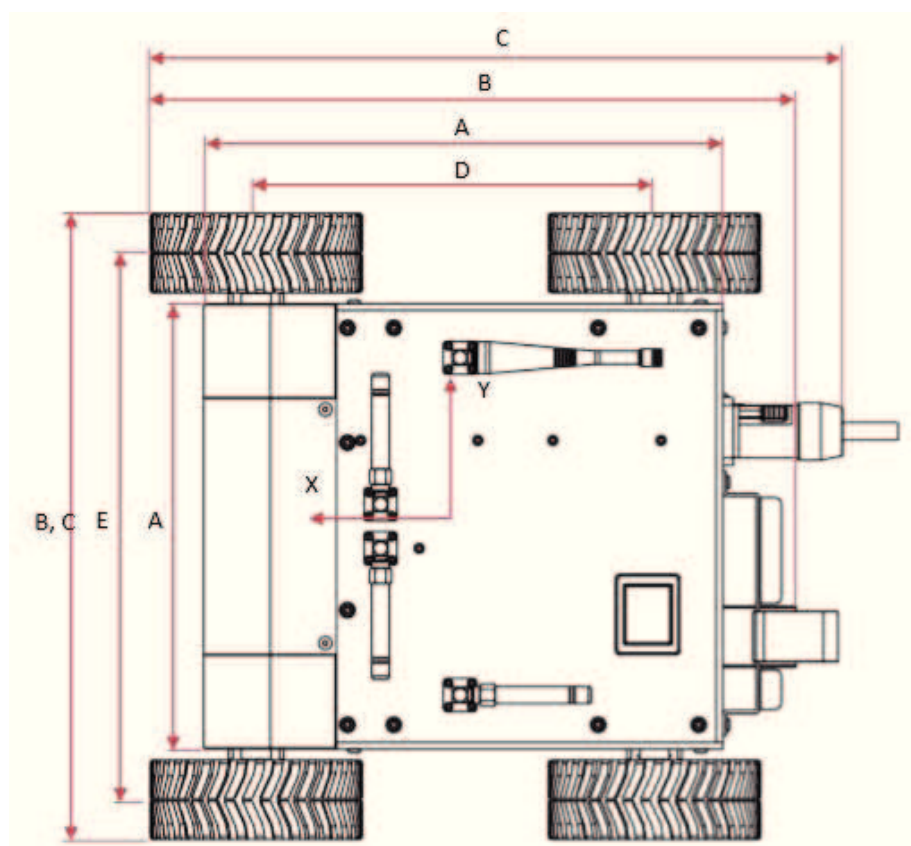
Původní pohon		Alternativa pohonu	
Motor	1 978,431 Kč	Pohon	1 128 Kč
Převodovka	3 363,087 Kč	Řídicí jednotka (pro dva motory)	1 918 Kč
Řídicí jednotka	1 939,010 Kč	Jeden pohon	2 087 Kč
Jeden pohon	7 280,529 Kč	Čtyři pohony	8 348 Kč
Čtyři pohony	29 122,116 Kč		

Tab. 23 Porovnání cen původního a alternativního pohonu[15,18,25,26]

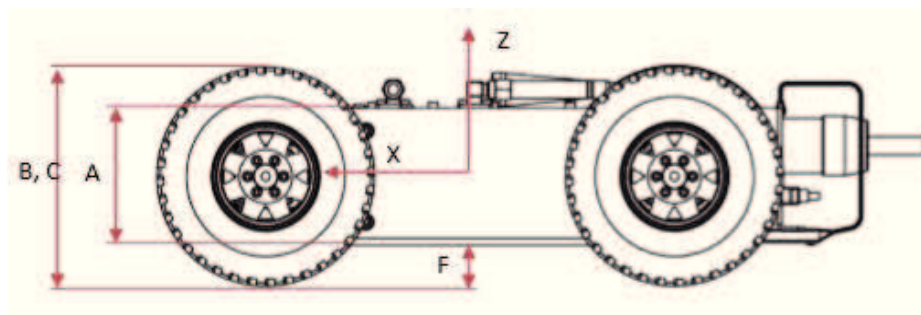
Rozdíl v nákladech je téměř 21 tisíc korun. Pro profesionální použití by alternativní pohon nebyl vhodný. Nesplňuje podmínky výkonnosti a není tolik přetížitelný jako původní pohon. Pro katedrální nebo soukromé použití je cenově přijatelnější.

9. Porovnání původního a upraveného robotu

9.1. Porovnání parametrů



Obr. 45 Porovnání rozměrů 1 [21]



Obr. 46 Porovnání rozměrů 2 [21]

Robot původní

A Rozměry rámu (d × š × v)	235 × 202 × 60 mm
B Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v)	292,3 × 284 × 96 mm
C Celkové rozměry s kabelem (d × š × v)	313,5 × 284 × 96 mm
D Rozvor	180,3 mm
E Rozchod	248 mm
F Teoretická světlná výška	18 mm
Hmotnost bez rušičky signálu	3,9 kg
Hmotnost s rušičkou signálu	4,3 kg

Tab. 24 Porovnání parametrů 1

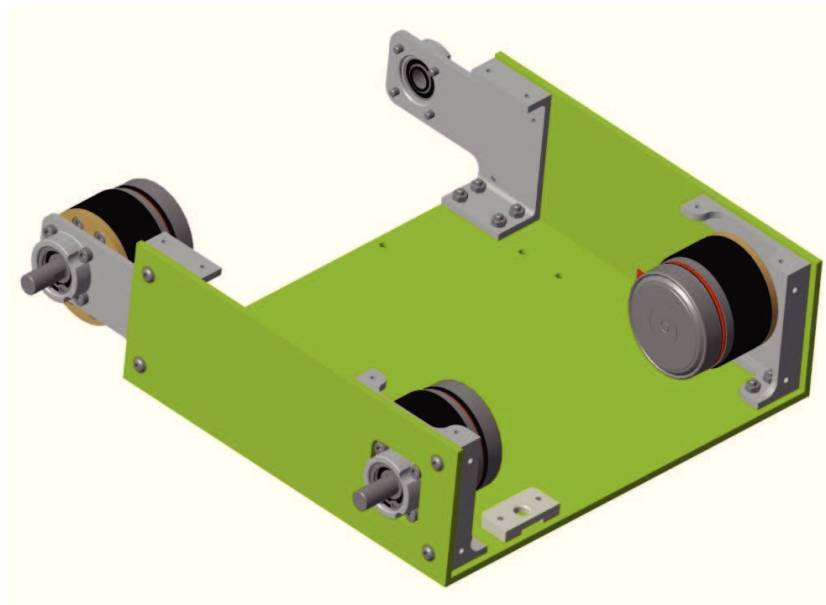
Robot upravený

A Rozměry rámu (d × š × v)	232,5 × 199 × 64 mm
B Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v)	284,5 × 280 × 97,3 mm
C Celkové rozměry s kabelem (d × š × v)	311,6 × 280 × 97,3 mm
D Rozvor	181 mm
E Rozchod	245 mm
F Teoretická světlná výška	18 mm
Hmotnost bez rušičky signálu	3,9 kg
Hmotnost s rušičkou signálu	4,3 kg

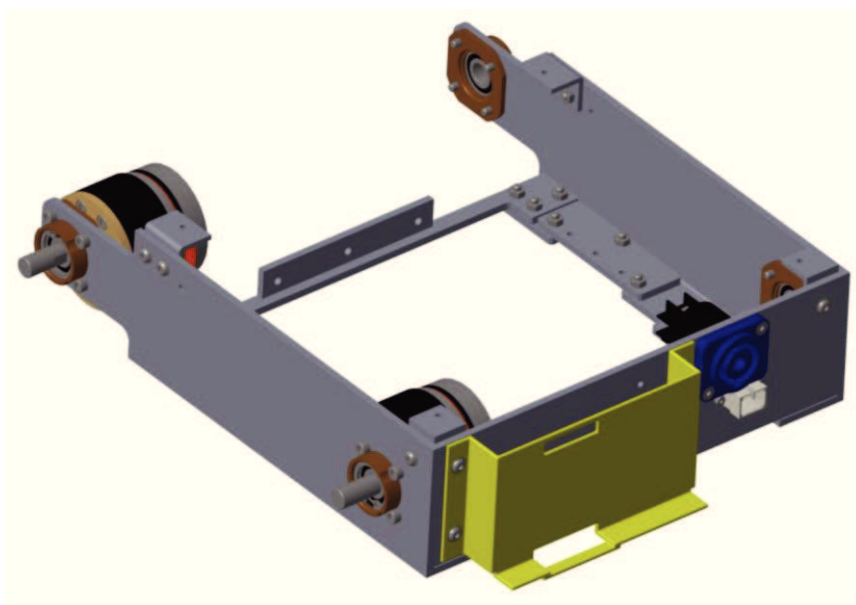
Tab. 25 Porovnání parametrů 2

9.2. Porovnání úprav

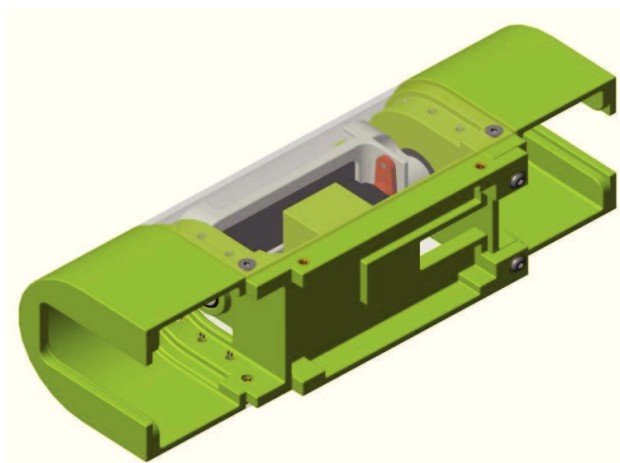
Porovnání úprav na 3D modelech je možno vidět na následujících obrázcích.



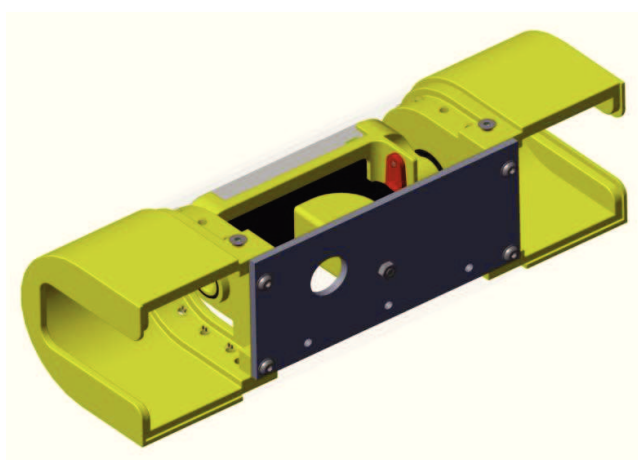
Obr. 47 Spodní blok - původní



Obr. 48 Spodní blok - upravený



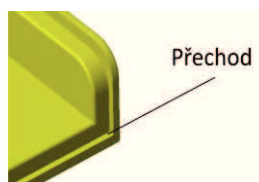
Obr. 49 Přední blok původní



Obr. 50 Přední blok upravený

10. Těsnění

Elektronika musí být chráněná proti vnikání cizích těles a vody. Konektory mají své těsnící kryty. Byla uvažována možnost těsnění pomocí těsnicích proužků, ale to by zvedlo kryt o pár milimetrů. Aby se nespojovaly desky s tupou hranou byly vytvořeny přechody, do kterých se při montáži nanese malá vrstva silikonu. Tímto se zajistí stupeň krytí IP 44.



Obr. 51 Detail na kryt motoru

11. Výpočty

V následující kapitole jsou provedeny kontroly pohonů a ložisek.

11.1. Kontrola pohonů

Návrh pohonu vychází z teorie dynamiky motorových vozidel [27]. Aby došlo k pohybu, hnací síla pohonu musí překonat následující odpory. Valivý odpor, vzdušný odpor, odpor zrychlení a odpor stoupání.

Valivý odpor - Vzniká deformací kola a povrchu. V případě, že všechna kola mají stejnou hodnotu součinitele valivého odporu, platí:

$$Of = f_K \cdot \sum Z_{Ki} = f_K \cdot G \cdot \cos(\alpha) = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

Povrch	$f_K [-]$
Asfalt	0,01 – 0,02
Beton	0,015 – 0,025
Dlažba	0,02 – 0,03
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20
Travnatý terén	0,08 – 0,15
Hluboký písek	0,15 – 0,30
Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Náledí	0,01 – 0,025

Tab. 26 Součinitel valivého odporu [27]

Vzdušný odpor - Při malé velikosti a pomalé rychlosti robotu se tento odpor zanedbává.

Odpor stoupání – Je určen tíhovou složkou podvozku, která je rovnoběžná s povrchem vozovky. Pro jízdu do svahu platí znaménko +, pro jízdu ze svahu platí znaménko –. Odpor stoupání působí v těžišti vozidla a platí:

$$O_s = \pm G \cdot \sin(\alpha) = \pm m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

Odpor zrychlení – Je setrvačná síla, která působí proti směru zrychlení vozidla. Pro zjednodušení je při výpočtu použit tzv. součinitel vlivu rotačních částí ϑ (1,0 – 1,5). Pak platí:

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a \quad (3)$$

Celkový jízdní odpor je suma jednotlivých jízdních odporů. Platí:

$$F_H = O_f + O_s + O_z + O_k \quad (4)$$

Hnací síla na jednom kole pro čtyřkolový podvozek je:

$$F_{H1} = \frac{F_H}{4} \quad (5)$$

Hnací výkon pro jedno kolo podvozku je určen pomocí vztahu:

$$P_{H1} = F_{H1} \cdot v \quad (6)$$

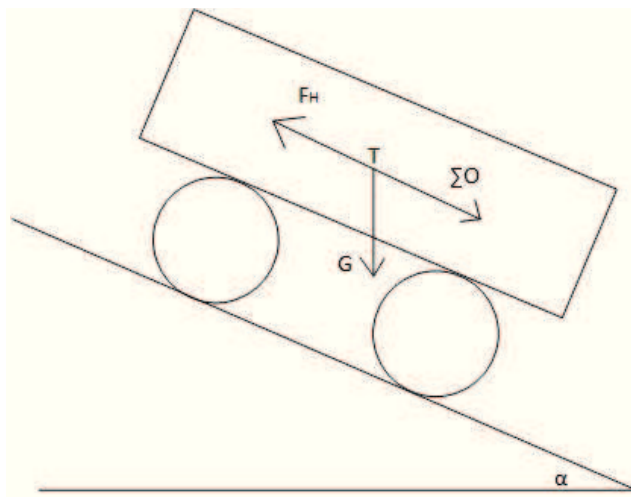
Krouticí moment na jednom kole podvozku je dán vztahem:

$$M_{H1} = F_{H1} \cdot r_K \quad (7)$$

Otáčky kola jsou vyjádřeny vztahem:

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} \quad (8)$$

Výpočet je proveden pro čtyři různé situace. Rozjezd na rovině, rovnoměrný pohyb po rovině, rozjezd na nakloněné rovině a rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině.



Obr. 52 Schéma působení sil a odporů

A Rozjezd na rovině:

Značení	Hodnota	Jednotka
$m=$	5	kg
$g=$	9,81	$m \cdot s^{-2}$
$\alpha=$	0	$^{\circ}$
$f_k=$	0,2	-
$\vartheta=$	1,3	-
$v=$	1,5	$m \cdot s^{-1}$
$a=$	1	$m \cdot s^{-2}$
$r_k=$	0,05	m

Tab. 27 Rozjezd na rovině

Po dosazení hodnot z tab. 27 do rovnic (1) až (8) vyjdou tyto výsledky:

Značení	Hodnota	Jednotka
$O_f=$	9,81	N
$O_s=$	0	N
$O_z=$	6,5	N
$F_H=$	16,31	N
$F_{H1}=$	4,07	N
$P_{H1}=$	6,11	W
$M_{H1}=$	0,20	Nm
$n=$	287	min^{-1}

Tab. 28 Rozjezd na rovině - výsledky

B Rovnoměrný pohyb po rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
$m=$	5	kg
$g=$	9,81	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$\alpha=$	0	$^{\circ}$
$f_k=$	0,2	-
$\vartheta=$	1,3	-
$v=$	1,5	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$a=$	0	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$r_k=$	0,05	m

Tab. 29 Rovnoměrný pohyb po rovině

Po dosazení hodnot z tab. 29 do rovnic (1) až (8) vyjdou tyto výsledky:

Značení	Hodnota	Jednotka
$O_f=$	9,81	N
$O_s=$	0	N
$O_z=$	0	N
$F_H=$	9,81	N
$F_{H1}=$	2,45	N
$P_{H1}=$	3,67	W
$M_{H1}=$	0,12	Nm
$n=$	287	min^{-1}

Tab. 30 Rovnoměrný pohyb po rovině - výsledky

C Rozjezd na nakloněné rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
$m=$	5	kg
$g=$	9,81	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$\alpha=$	25	$^{\circ}$
$f_k=$	0,2	-
$\vartheta=$	1,3	-
$v=$	1	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$a=$	0,5	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$r_k=$	0,05	m

Tab. 31 Rozjezd na nakloněné rovině

Po dosazení hodnot z tab. 31 do rovnic (1) až (8) vyjdou tyto výsledky:

Značení	Hodnota	Jednotka
$O_f =$	8,89	N
$O_s =$	20,72	N
$O_z =$	3,25	N
$F_H =$	32,87	N
$F_{H1} =$	8,21	N
$P_{H1} =$	8,21	W
$M_{H1} =$	0,41	Nm
$n =$	191	min^{-1}

Tab. 32 Rozjezd po nakloněné rovině - výsledky

D Pohyb po nakloněné rovině

Značení	Hodnota	Jednotka
$m =$	5	kg
$g =$	9,81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$\alpha =$	25	$^{\circ}$
$f_k =$	0,2	-
$f_T =$	0,8	-
$\vartheta =$	1,3	-
$v =$	1	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$a =$	0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$r_k =$	0,05	m

Tab. 33 Pohyb po nakloněné rovině

Po dosazení hodnot z tab. 33 do rovnic (1) až (8) vyjdou tyto výsledky:

Značení	Hodnota	Jednotka
$O_f =$	8,89	N
$O_s =$	20,72	N
$O_z =$	0	N
$F_H =$	29,62	N
$F_{H1} =$	7,40	N
$P_{H1} =$	7,40	W
$M_{H1} =$	0,37	Nm
$n =$	191	min^{-1}

Tab. 34 Pohyb po nakloněné rovině - výsledky

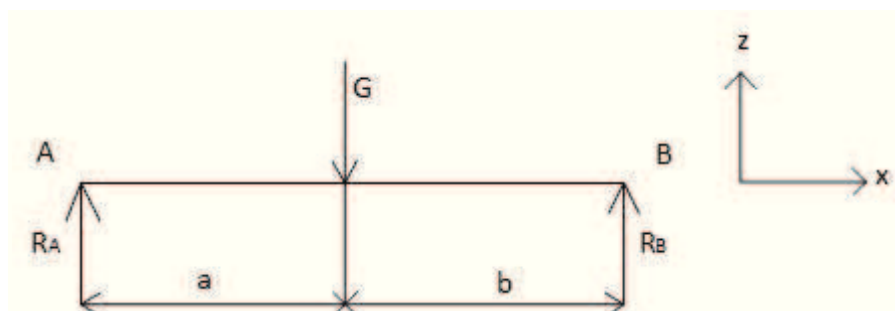
Porovnání výstupních parametrů

Pohyb	Hnací síla [N]	Výkon [W]	Krouticí moment [Nm]	Otáčky kola [min ⁻¹]
A	4,07	6,11	0,20	287
B	2,45	3,67	0,12	287
C	8,21	8,21	0,41	191
D	7,40	7,40	0,37	19

Nejvíce kritický moment je v rozjezdu po nakloněné rovině. Pro zjednodušení se počítalo pouze s hmotností robotu bez kabelu. Nebyly překročeny výkonnostní parametry pohonu.

11.2. Kontrola ložisek

Z důvodu změny těžiště a některých rozměrů, byla provedena kontrola ložisek. Pro určení sil působící na přední a zadní kola bylo použito následující schéma. Poloha těžiště byla stanovena pomocí programu PTC Creo Parametric 3.0.



Obr. 53 Schéma působení sil

Vstupní hodnoty

Značení	Hodnota	Jednotka
m_c	4,2	kg
g	9,81	$m \cdot s^{-2}$
a	106,83	mm
b	74,18	mm
c	7	mm
d	23,5	mm

Tab. 35 Vstupní hodnoty

$$\Sigma F_z = R_A - G + R_B = 0 \quad (9)$$

$$\Sigma M_A = G \cdot a - R_B \cdot (a+b) = 0 \quad (10)$$

$$m_c \cdot g \cdot a - R_B \cdot (a+b) = 0 \quad (11)$$

$$R_B = \frac{m_c \cdot g \cdot a}{a+b} \quad (12)$$

$$R_A = G - R_B \quad (13)$$

Po dosazení hodnot z tab. 35 do rovnic (12) a (13) dostaneme tyto výsledky:

$$R_A = 16,89 \text{ N}$$

$$R_B = 24,31 \text{ N}$$

Tyto síly je nutné rozdělit na jednotlivé kola:

$$R_{A1} = \frac{R_A}{2} = \frac{16,89}{2} = 8,44 \text{ N} \quad (14)$$

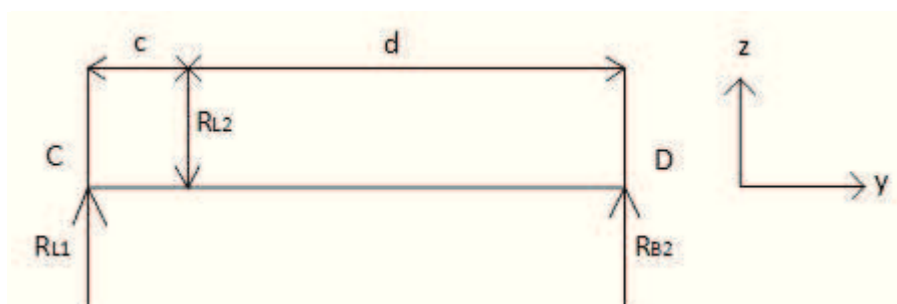
$$R_{B1} = \frac{R_B}{2} = \frac{24,31}{2} = 12,15 \text{ N} \quad (15)$$

Výstupní hodnoty

Značení	Hodnota	Jednotka
R_A	16,89	N
R_B	24,31	N
R_{A1}	8,44	N
R_{B1}	12,15	N

Tab. 36 Výstupní hodnoty

Pro určení sil působících na ložiska bylo použito následující schéma.



Obr. 54 Schéma sil působících na ložiska

$$\Sigma F_z = R_{L1} - R_{L2} + R_{B2} = 0 \quad (16)$$

$$\Sigma M_C = R_{L2} \cdot c - R_{B2} \cdot (c+d) = 0 \quad (17)$$

$$R_{L2} = \frac{R_{B2} \cdot (c+d)}{c} \quad (18)$$

$$R_{L1} = R_{L2} - R_{B2} \quad (19)$$

Po dosazení hodnot z tab. 35 a 36 do rovnic (18) a (19) vyjdou tyto hodnoty:

Výstupní hodnoty		
Značení	Hodnota	Jednotka
R_{L1}	40,79	N
R_{L2}	52,94	N

Tab. 37 Síly působící na ložiska

Při zatáčení robotu, který je řízen diferenčně, vznikají smykové síly. Axiální síla, která při tomto způsobu řízení může vznikat, je zohledněna hodnotou 30 N. Maximální dynamické axiální zatížení hřídele převodovky činí 60 N. [21]

Ložisko bude kontrolováno na největší zatěžující radiální sílu R_{L2} . Kontrola ložiska je provedena v programu MITCalc.

The screenshot shows the MITCalc software interface for bearing selection and calculation. The interface is in Czech and includes the following sections:

- 1.1 Jednotky výpočtu**: SI Units (N, mm, kW...)
- 1.2 Typ ložiska**: Kuličkové ložiska jednořadá
- 1.7 Zatížení ložiska**:

1.8 Otáčky	n	316,0	[/min]
1.9 Radiální zatížení	Fr	52,9	[N]
1.10 Axiální zatížení	Fa	30,0	[N]
1.11 Součinitel přídatných dynamických sil		1	
- 1.12 Požadované parametry ložiska**:

1.13 Trvanlivost ložiska	Lh	10000	[h]
1.14 Součinitel statické bezpečnosti	s0	2,00	
- 1.3 Provedení ložiska**:

1.4 Utěsněné oboustranně	
1.5 Samostatné ložisko	
1.6 Normální ložiskové vůle	
- 1.15 Přídatné dynamické síly**:

1.16 Žádné			
1.17 Od ozubených převodů			
1.18 Běžné ozubené kola (úchytky tvaru a rosteže 0.02 až 0.1 mm)			
1.19 Součinitel	f _k	1,1 - 1,3	1,20
1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory			
1.21 Součinitel	f _d	1 - 1,2	1,10
1.22 Od řemenových převodů			
1.23 Klínové řemeny			
1.24 Součinitel	f _b	1,9 - 2,5	2,20
- 2.0 Volba rozměrů ložiska**:

ID	d	D	B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
13	8,0	19,0	6,0	1900	735		24000	619/8-2RS1
- 2.1 Rozměry ložiska**:

d	8
D	19
B	6
ramax	0,3
Damax	17
damin	10
- 2.2 Parametry ložiska**:

2.3 Základní dynamická únosnost	C	1900	[N]
2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení	P	87,8	[N]
2.5 Základní trvanlivost	L10h	534489	[h]
2.6 Základní statická únosnost	C0	735	[N]
2.7 Statické ekvivalentní zatížení	P0	52,9	[N]
2.8 Součinitel statické bezpečnosti	s0	13,89	
2.9 Dovolené radiální zatížení	F _{rmax}	-	[N]
2.10 Dovolené axiální zatížení	F _a max	-	[N]
2.11 Referenční otáčky	nr	-	[/min]
2.12 Mezní otáčky	nmax	24000	[/min]
2.13 Ztrátový výkon	NR	0,02	[W]
2.14 Váha ložiska	g	0,0071	[kg]
- 3.0 Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska**:

3.1 Kinematická viskozita maziva			
3.2 Vtažná viskozita	v ₁	90	[mm ² /s]
3.3 Provozní viskozita	v	20,1	[mm ² /s]
3.4 Viskozní poměr	κ	0,22	
3.5 Požadované minimální zatížení			
3.6 Minimální radiální zatížení	F _{rmin}	1,25	[N]
- 3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti**:

3.8 Mezní únavové zatížení	Pu	31	[N]
3.9 Požadovaná spolehlivost	90 %		
3.10 Znečištění maziva	Typické znečištění		
3.11 Součinitel úrovně znečištění	η	0,3 - 0,1	0,20
3.12 Součinitel trvanlivosti	a1/a23	1	0,17
3.13 Modifikovaná trvanlivost	Lmh	90863	[h]

Obr. 55 Kontrola ložiska v programu MITCalc

12. Závěr

Bakalářská práce se zabývá konstrukční úpravou rámu robotu Kraken 2. V rešerši byl proveden průzkum monitorovacích robotů s kolovým subsystémem, byly zmíněny i další roboty s jinými subsystémy. Dále byl proveden průzkum kamer a pohonů s co nejmenšími rozměry.

Byl sestaven požadavkový list a navrženy tři varianty pro úpravu nosného rámu. Pro získání optimálního řešení byly tyto varianty podrobené kritériální analýze. Z této analýzy vyplynulo, že pro podrobnější zpracování je vhodná varianta B.

Nosný rám byl upraven pro levnější výrobu (méně odpadu při obrábění) a jednodušší montáž. Kostrou nosného rámu jsou L profily ze slitiny hliníku EN AW 6060. Do profilů jsou vytvořeny díry pro montáž pomocí šroubů a díry pro vložení ložiskových domků. Oproti původnímu řešení, kde uchycení pohonů je vytvořeno z bloků hliníku. Bočnice jsou v celku, což zajišťuje souosost pohonů. Kdežto v původním návrhu bylo uchycení pohonů uděláno jednotlivě, takže při výrobě či montáži byla větší šance na nepřesnost.

Byl předělán rám na uchycení baterie a přidán bezpečnostní popruh, který zajišťuje, aby články nevypadly v době jízdy. Uchycení baterie bylo předěláno na jednodušší demontáž, která slouží hlavně jako havarijní vyjmutí. Stačí sundat spodní kryt, vyšroubovat šrouby a vyndat rám s vloženými články. V původním návrhu se musel demontovat horní blok, celá elektronika a až pak baterie.

V předním bloku byly upraveny kryty pohonů na jednodušší výrobu. Nosným prvkem je přidána hliníková deska, pomocí níž se spojí přední a spodní blok.

Elektronika zůstala původní, některé komponenty musely být posunuty, aby nedocházelo ke kolizi s jinými součástmi. V horním bloku bylo také nutné posunout některé komponenty, proto byl rám nadzdvížen o 3 mm.

Dále byla navržena možnost ušetření nákladů výběrem jiných pohonů a řídicích jednotek, ale za cenu navýšení šířky robotu a snížení výkonnostních parametrů. Tato možnost by ušetřila téměř 21 tisíc Kč.

13. Použitá literatura:

- [1] Automa. *Monitorování servisními roboty* [online]. 2004 [cit. 2015-10-8]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=32331
- [2] BSS. *Mini UGV* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.bssholland.com/#!en/products/mini-ugv-nerva-lg.html>
- [3] Robotics Group. *Our Products* [online]. 2011 [cit. 2015-10-8]. Dostupné z: <http://www.roboticsgroup.com/products.asp?cat=31>
- [4] Robot.vsb.cz. *Kraken* [online]. 2011 [cit. 2015-10-13]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/kraken/>
- [5] IRobot. *110 FirstLook* [online]. 2015 [cit. 2015-10-8]. Dostupné z: <http://www.irobot.com/For-Defense-and-Security/Robots/110-FirstLook.aspx#Military>
- [6] QinetiQ. *Dragon Runner* [online]. 2015 [cit. 2015-10-8]. Dostupné z: <https://www.qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/dragon-runner/>
- [7] DJI. *S900* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.dji.com/product/spreading-wings-s900/spec>
- [8] Hexapod Mark III. *TrossenRobotics* [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.trossenrobotics.com/phantomx-ax-hexapod.aspx>
- [9] Snake Robot. *Biorobotics* [online]. 2016 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://biorobotics.ri.cmu.edu/projects/modsnake/indoor.html>
- [10] Podvodní robot. *Ponorka ODIN* [online]. 2015 [cit. 2015-10-13]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/roboticka-koule-k-pruzkumu-nebezpecnych-mist>
- [11] ESCAD Trade. *MD-B5026-3.0* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/md-b5026-3-0-deskova-5mpx-qsxga-kamera-usb-uvc.html>
- [12] ESCAD Trade. *MD-B2020U-3020* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/md-b2020u-3b-miniaturni-deskova-2mpx-full-hd-1080p-kamera-usb-rozhrani.html>
- [13] Eagle Security. *GH-C600* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.detektivni-kancl.cz/miniaturni-bezdratova-kamera-2-4ghz-barevna-s-nocnim-videnim-baterii-a-stojankem-p50>
- [14] Kimpok. *KP-NCAM02* [online]. 2015 [cit. 2015-10-10]. Dostupné z: <http://www.kimpok.com/Wireless-Camera/Smallest-Wireless-Camera-Night-Vision-KP-NCAM02.html>
- [15] Pohon. *Maxon* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/products>

- [16] Pohon. *Dunkermotoren* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.dunkermotor.com/default.asp?id=94&lang=2&storeid=1&itemid=4>
- [17] Pohon. *Transmotec* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.transmotec.com/dc-motors/planetary-gear/PD22-Series.aspx?gclid=CI7ulKCtpMsCFa0W0wod-w8LKQ>
- [18] Pohon. *Pololu* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2823>
- [19] Hliníkové profily. *Ehlinik* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/>
- [20] Ložisko. *SKF* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?designation=619/8-2RS1&unit=metricUnit>
- [21] ŠOSTOK, Marek. *Robot pro video detekce automobilových podvozků* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2016-05-02].
- [22] IGLIDUR. *Tme* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/gfm-1214-06/kluzna-loziska/igus/>
- [23] LiPo. *RC-Factory* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.rc-factory.cz/katalog/hyperion-battery-pack-248/hp-g3-cx-4000mah-3s-25c-1977.html>
- [24] Ložisko. *SKF* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?designation=61800-2RS1>
- [25] Řídicí jednotka. *Snailshop* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/kontrolery-s-inteligenci/543-dual-vnh2sp30-motor-driver-carrier-md03a.html>
- [26] Měna CHF. *Kurzy* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlepsi-kurzy/CHF-svycarsky-frank/>
- [27] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.

14. Seznam obrázků

Obr. 1 Servisní roboty vhodné pro monitorování [1]	- 10 -
Obr. 2 Robot UGV Nerva LG[2]	- 10 -
Obr. 3 Robot RGi-RTR6x6-Z [3]	- 11 -
Obr. 4 Robot RGi-RTR4x4-N [3]	- 12 -
Obr. 5 Ostatní roboty firmy Robotics Group [3]	- 12 -
Obr. 6 Robot Kraken [4]	- 13 -
Obr. 7 Robot 110 FirstLook [5]	- 14 -
Obr. 8 Dragon Runner 20 [6]	- 14 -
Obr. 9 Robot DJI S900 [7]	- 15 -
Obr. 10 Robot Hexapod Mark III [8]	- 16 -
Obr. 11 Modulární "Snake" robot [9]	- 16 -
Obr. 12 Ponorka ODIN [10]	- 16 -
Obr. 13 Kamera MD-B5026-3.0 [11]	- 17 -
Obr. 14 Kamera MD-B2020U-3020 [12]	- 18 -
Obr. 15 Kamera GH-C600 [13]	- 18 -
Obr. 16 Kamera KP-NCAM02 [14]	- 19 -
Obr. 17 Motor Maxon EC 45 flat [15]	- 20 -
Obr. 18 Převodovka GS 45 A [15]	- 20 -
Obr. 19 Motor G 30.0 [16]	- 21 -
Obr. 20 Převodovka PLG 32 [16]	- 21 -
Obr. 21 Pohon série PD4266 [17]	- 21 -
Obr. 22 Pololu motor s převodovkou a enkodérem [18]	- 22 -
Obr. 23 Varianta A	- 24 -
Obr. 24 Varianta B	- 25 -
Obr. 25 Varianta C	- 25 -
Obr. 26 Závislost počtu voleb na významnosti	- 27 -
Obr. 27 Nosný rám	- 29 -

Obr. 28 Spodní blok.....	- 30 -
Obr. 29 Řez uložením pohonu	- 30 -
Obr. 30 Přední blok.....	- 31 -
Obr. 31 Baterie.....	- 32 -
Obr. 32 Uchycení baterie	- 33 -
Obr. 33 Deska s elektronikou	- 33 -
Obr. 34 Horní blok - vnitřní strana	- 34 -
Obr. 35 Horní blok - vnější strana	- 34 -
Obr. 36 Celý robot	- 35 -
Obr. 37 Montáž předního bloku.....	- 35 -
Obr. 38 Montáž bloku baterie a spodního krytu	- 36 -
Obr. 39 Montáž bloku s elektronikou	- 36 -
Obr. 40 Montáž horního bloku	- 37 -
Obr. 41 Montáž kol.....	- 37 -
Obr. 42 Alternativa pohonu	- 38 -
Obr. 43 Řez uložením alternativního pohonu	- 39 -
Obr. 44 Řídicí jednotka Dual VNH2SP30 [25]	- 39 -
Obr. 45 Porovnání rozměrů 1 [21].....	- 40 -
Obr. 46 Porovnání rozměrů 2 [21].....	- 41 -
Obr. 47 Spodní blok - původní	- 42 -
Obr. 48 Spodní blok - upravený.....	- 42 -
Obr. 49 Přední blok původní.....	- 43 -
Obr. 50 Přední blok upravený	- 43 -
Obr. 51 Detail na kryt motoru.....	- 43 -
Obr. 52 Schéma působení sil a odporů	- 46 -
Obr. 53 Schéma působení sil	- 49 -
Obr. 54 Schéma sil působících na ložiska	- 50 -
Obr. 55 Kontrola ložiska v programu MITCalc	- 51 -

15. Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry robotu UGV Nerva LG.....	- 11 -
Tab. 2 Parametry robotu RGi-RTR6x6-Z.....	- 11 -
Tab. 3 Parametry robotu RGi-RTR4x4-N	- 12 -
Tab. 4 Parametry robotu Kraken.....	- 13 -
Tab. 5 Parametry robotu 110 FirstLook.....	- 14 -
Tab. 6 Parametry robotu Dragon Runner 20.....	- 14 -
Tab. 7 Parametry robotu S900	- 15 -
Tab. 8 Parametry kamery MD-B5026-3.0	- 17 -
Tab. 9 Parametry kamery MD-B2020U-3020	- 18 -
Tab. 10 Parametry Kamery GH-C600	- 19 -
Tab. 11 Parametry kamery KP-NCAM02	- 19 -
Tab. 12 Parametry pohonu Maxon	- 20 -
Tab. 13 Parametry pohonu Dunkermotoren	- 21 -
Tab. 14 Parametry pohonu PD4266.....	- 22 -
Tab. 15 Parametry motoru Metal Gearmotor 37Dx68L	- 22 -
Tab. 16 Hodnocená kritéria	- 26 -
Tab. 17 Stupnice hodnocení.....	- 26 -
Tab. 18 Významnost kritérií	- 27 -
Tab. 19 Určení významnosti kritérií.....	- 27 -
Tab. 20 Hodnocení varianty A.....	- 28 -
Tab. 21 Hodnocení varianty B	- 28 -
Tab. 22 Hodnocení varianty C	- 28 -
Tab. 23 Porovnání cen původního a alternativního pohonu[15,18,25,26]	- 40 -
Tab. 24 Porovnání parametrů 1.....	- 41 -
Tab. 25 Porovnání parametrů 2.....	- 41 -
Tab. 26 Součinitel valivého odporu [27]	- 44 -
Tab. 27 Rozjezd na rovině	- 46 -

Tab. 28 Rozjezd na rovině - výsledky	- 46 -
Tab. 29 Rovnoměrný pohyb po rovině	- 47 -
Tab. 30 Rovnoměrný pohyb po rovině - výsledky	- 47 -
Tab. 31 Rozjezd na nakloněné rovině.....	- 47 -
Tab. 32 Rozjezd po nakloněné rovině - výsledky.....	- 48 -
Tab. 33 Pohyb po nakloněné rovině	- 48 -
Tab. 34 Pohyb po nakloněné rovině - výsledky.....	- 48 -
Tab. 35 Vstupní hodnoty	- 49 -
Tab. 36 Výstupní hodnoty	- 50 -
Tab. 37 Síly působící na ložiska	- 51 -

16. Seznam příloh

Příloha 1 Výkresová dokumentace

- Výrobní výkres ložiskového domku - příruby
- Sestavný výkres ložiskového domku
- Sestavný výkres předního bloku
- Sestavný výkres nosného rámu
- Sestavný výkres spodního bloku
- Sestavný výkres celého robotu

Příloha 2 CD - Dominik Heczko - Bakalářská práce 2015/2016

Obsah CD:

- Bakalářská práce ve formátu PDF a DOCX
- Výsledný 3D model v programu PTC Creo Parametric 3.0
- Výkresová dokumentace

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Širokému za cenné rady, připomínky, odborné vedení a trpělivost.